



Faculdade de Ciências
Faculdade de Letras
Faculdade de Medicina
Faculdade de Psicologia

**PROCESSAMENTO VISUAL NO ESPAÇO CENTRAL E PERIFÉRICO EM
INDIVÍDUOS COM SURDEZ CONGÊNITA**

Gonçalo Jorge Alves Nunes

Dissertação submetida para a conclusão do
CICLO DE ESTUDOS CONDUCENTE AO GRAU DE
MESTRE EM CIÊNCIA COGNITIVA

2013



Faculdade de Ciências
Faculdade de Letras
Faculdade de Medicina
Faculdade de Psicologia

**PROCESSAMENTO VISUAL NO ESPAÇO CENTRAL E PERIFÉRICO EM
INDIVÍDUOS COM SURDEZ CONGÉNITA**

Gonçalo Jorge Alves Nunes

Dissertação submetida para a conclusão do
CICLO DE ESTUDOS CONDUCENTE AO GRAU DE
MESTRE EM CIÊNCIA COGNITIVA

Orientador: **Doutor J.C.B. Almeida**
Coorientador: **Professor Doutor J.F. Marques**

2013

Agradecimentos

Aqui termina uma longa, e nalguns momentos difícil, caminhada. Entre o antes, o durante e o final desta caminhada muitas coisas aconteceram e muitas realidades mudaram. Agradeço aos meus Orientadores, Doutor Jorge Almeida e Professor Frederico Marques, pela sua presença ao longo desta caminhada e, acima de tudo, pela enorme paciência que sempre demonstraram, bem como pela sua interminável disponibilidade. Esta foi também uma etapa de crescimento pessoal, como muitas outras que encontramos ao longo da vida. Agradeço ao Doutor Jorge Almeida e Professor Frederico Marques também por terem sido os pilares desta etapa de crescimento.

Agradeço também ao Dr. Rui Nunes pelo interesse e receptividade que demonstrou desde sempre em relação a este trabalho, bem como ao Eng. Humberto Pintado, à Dra. Marta Rodrigues e à Dra. Mari Rosberg, pelo seu enorme apoio na selecção da amostra e por todo o apoio moral que me deram durante a elaboração do trabalho. Agradeço também à Dra. Maria José Carido, pelo seu espírito crítico.

À Dra. Graça Caldeira, à Dra. Cristina Leite e ao Dr. Nuno Batalheiro, meus colegas e amigos, um enorme obrigado por toda a paciência que tiveram durante estes anos de Mestrado, e por tudo aquilo que tiveram de suportar nos momentos mais complicados. Um obrigado muito especial à Graça pela força que me deu desde sempre neste Mestrado, mesmo quando este era apenas uma ideia, e pela sua interminável capacidade de ouvir e de aconselhar, mesmo nos muitos momentos em que não estamos de acordo. Obrigado também à Dra. Margarida Serrano pela sua capacidade de ouvir, de responder a todos os pedidos de socorro e pela serenidade com que sempre lhes respondeu.

Agradeço também aos meus pais por toda a ajuda, carinho e interesse que deram nestes anos, tal como sempre, e pela calma que sempre me tentaram transmitir. Obrigado também à minha irmã, por todo o apoio e ajuda que me deu durante estes anos e durante a elaboração deste trabalho.

Obrigado a todos os meus amigos, que me apoiaram durante este período, especialmente àqueles que se mudaram para os sítios mais improváveis, e que quase nunca estão fisicamente presentes, mas que nunca deixam de estar por perto e de continuar a apoiar.

Não quero deixar ainda de agradecer à Doutora Maryam Vaziri Pashkam pela ajuda que deu na programação da tarefa utilizada neste trabalho.

Por fim, quero agradecer a todas as pessoas que entraram neste estudo, pela disponibilidade e paciência ao aceitarem participar no mesmo, bem como pelo interesse que demonstraram em vários momentos.

Resumo

Os estudos realizados ao longo dos últimos anos sobre o processamento visual em indivíduos com surdez congênita têm demonstrado, consistentemente, um melhor desempenho no espaço visual periférico, em comparação com o central, sendo estas evidências tanto comportamentais como neuronais. Mais recentemente verificou-se também, a partir de resultados neuronais, que a vantagem que os indivíduos surdos apresentam no espaço visual periférico poderá ser devida especificamente a uma vantagem no eixo horizontal/azimute, que não se verifica no eixo vertical/meridiano. Os padrões referidos, que se verificam em indivíduos surdos, mas não em indivíduos ouvintes, têm sido atribuídos à ausência de input auditivo e a uma consequente reorganização cortical por plasticidade compensatória, e não à exposição a uma língua gestual.

Com o presente estudo pretendeu-se replicar os resultados obtidos nos estudos anteriores. Pretendeu-se também verificar, se os resultados neuronais relativos à vantagem no eixo horizontal se verificam também em tarefas comportamentais. Para tal, utilizou-se uma tarefa de detecção da coerência de movimento nos espaços visuais periférico e central. Foram estudados dois grupos de adultos, um formado por indivíduos com surdez congênita e outro formado por indivíduos com audição normal.

Os resultados obtidos estão em linha com os de estudos anteriores, na medida em que se verifica, no grupo com surdez, uma vantagem ao nível do desempenho no espaço visual periférico comparativamente com o central. Esta vantagem foi especificamente no eixo horizontal. Já o grupo de indivíduos ouvintes não apresentou diferenças entre o espaço visual periférico e central. Os presentes resultados, para além de replicarem os resultados de estudos anteriores, corroboram através de uma tarefa comportamental, os resultados neuronais recentes obtidos relativamente ao eixo horizontal. Além disso, face às características do presente grupo com surdez, é possível afirmar que estes resultados são realmente devidos à privação auditiva.

Palavras chave: *surdez congénita, privação auditiva, plasticidade compensatória, espaço visual periférico e central, detecção da coerência de movimento.*

Abstract

Previous results on visual processing in congenital deaf subjects have consistently shown an advantage for peripheral visual space over central locations. These data has been obtained both with behavioural, as well as neural paradigms. Recently, neural data showed that the enhanced performance in peripheral visual space presented by deaf individuals, may be specifically an advantage for stimuli within the horizontal/azimuth plane, and not some much for vertical/meridian plane locations. This pattern, which is present in deaf subjects, but not in hearing subjects, has been related to the absence of auditory input under congenital deafness, and consequently to a cortical reorganization by cross-modal plasticity.

The aim of the current study was to replicate the previous results, and to test whether the behavioural advantage presented by deaf individuals is also restricted to the horizontal plane in line with the current neural data. For this, a coherence movement discrimination task at the peripheral and central visual space was used. Deaf and hearing adults were studied.

The results are in line with the previous data – the deaf group revealed a behavioural advantage for peripheral visual presentations, compared to central presentations. More importantly, this advantage was restricted to the horizontal plane. The present results, not only replicated the previous data but also strongly suggest that the behavioural advantage demonstrated by deaf individuals is causally related to the processing happening within the neuroplastically modified auditory cortex. Due to the characteristics of the present deaf group, it is possible to state that these results are actually a consequence of the auditory deprivation.

Keywords: *congenital deafness, auditory deprivation, cross-modal plasticity, peripheral and central visual space, coherence movement discrimination task.*

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	14
1.1. Definição de surdez	16
1.1.1. Surdez vs déficit auditivo	16
1.1.2. Surdez vs déficit auditivo: perspectiva funcional	16
1.2. Heterogeneidade da surdez	17
1.3. Etiologia da surdez	18
1.3.1. Surdez congénita	18
1.3.2. Causas de surdez congénita	18
1.3.3. Surdez adquirida	19
1.4. Classificação da surdez	19
1.4.1. Grau de surdez	19
1.4.2. Tipo de surdez	21
1.4.2.1. Surdez de condução	21
1.4.2.2. Surdez sensorineural	21
1.4.2.3. Surdez mista	22
1.4.3. Surdez pré-lingual e pós-lingual	22
1.5. Neuroplasticidade	23
1.5.1. Conceito de plasticidade funcional	23
1.5.2. Neuroplasticidade ao nível dos córtices sensoriais	23
1.6. Plasticidade compensatória	24
1.6.1. Fundamentos da plasticidade compensatória	24
1.6.2. Definição de plasticidade compensatória	24
1.6.3. Distribuição não uniforme da plasticidade compensatória	24
1.7. Mecanismos de plasticidade compensatória	25
1.7.1. Mudanças na conectividade local	25
1.7.2. Mudanças na conectividade subcortical	26
1.7.3. Mudanças no feedback córtico-cortical	26
1.7.4. Mudanças na conectividade córtico-cortical de longo alcance	27
1.8. Efeitos da plasticidade compensatória em indivíduos cegos – nível comportamental	27

1.9. Efeitos da plasticidade compensatória em indivíduos cegos – nível neuronal	28
1.10. Efeitos da plasticidade compensatória em indivíduos surdos: evidências do período crítico para o desenvolvimento auditivo	29
1.11. Efeitos da plasticidade compensatória em indivíduos surdos – nível comportamental	30
1.11.1. Evidências de modelos animais	30
1.11.2. Estudos e resultados com indivíduos humanos	31
1.12. Efeitos da plasticidade compensatória em indivíduos surdos – nível neuronal	35
1.12.1. Dados electrofisiológicos	35
1.12.2. Privação auditiva precoce vs utilização de língua gestual	39
1.12.3. Influência do grau de surdez na plasticidade compensatória	40
1.12.4. Evidências de plasticidade compensatória em modelos animais	40
1.12.5. Mudanças ao nível das áreas sensoriais primárias	44
1.12.6. Mudanças nos princípios de organização funcional induzidas por plasticidade compensatória	45
1.13. Influência da etiologia complexa da surdez no estudo dos efeitos da plasticidade compensatória em indivíduos surdos	46
1.14. O presente estudo	47
 2. METODOLOGIA	 49
2.1 Participantes	49
2.2. Materiais e Procedimento	51
2.3. Análise de dados	53
 3. ANÁLISE DE RESULTADOS	 54
3.1. Análise principal	54
3.1.1. Desempenho centro/azimute/meridiano	54
3.1.1.1. Análise do ajustamento das curvas psicométricas	54
3.1.1.2. Análise dos limiares de coerência de movimento	56

3.2. Análise secundária	57
3.2.1. Desempenho esquerda/direita	57
3.2.1.1. Análise do ajustamento das curvas psicométricas	57
3.2.1.2. Análise dos limiares de coerência de movimento	58
3.2.2. Desempenho superior/inferior	59
3.2.2.1. Análise do ajustamento das curvas psicométricas	59
3.2.2.2. Análise dos limiares de coerência de movimento	60
3.2.3. Influência das características audiológicas do grupo com surdez no processamento visual do eixo azimuth	61
 4. DISCUSSÃO	 62
 4.1. Discussão dos resultados	 62
4.2. Estudos futuros	66
4.3. Conclusão	67
 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	 69
 ANEXOS	 75

Índice de figuras

Figura 1: distribuição dos sons de fala e dos sons ambientais pelo quadro audiométrico, em função da intensidade e da frequência (http://audio-accessibility.com/wp-content/uploads/2012/02/audiogram.jpg)	20
Figura 2: Anatomia do ouvido (http://www.stanford.edu/class/me220/data/lectures/lect01/ear.jpg)	22
Figura 3: Protocolo utilizado no estudo de Proksch & Bavelier (2002). Na imagem é possível observar os distractores centrais e periféricos, bem como os vários factores de sobrecarga (Proksch & Bavelier, 2002)	32
Figura 4: Representação esquemática do protocolo utilizado por Bosworth & Dobkins (2002). Na imagem da esquerda a coerência de movimento é de 20%, enquanto que na imagem da direita é de 50% (Bosworth & Dobkins, 2002)	33
Figura 5: Protocolo utilizado por Bottari <i>et al</i> (2011). Na imagem superior é possível observar as oito localizações possíveis para o aparecimento do estímulo (Bottari <i>et al</i> , 2011)	37
Figura 6: Áreas do córtex auditivo de gato com surdez. (a) representação do hemisfério esquerdo com todas as áreas auditivas assinaladas, estando a cinzento as analisadas por Lomber <i>et al</i> (2011). (b) circuitos de arrefecimento em contacto com as áreas AAF, A1, DZ e PAF do córtex auditivo esquerdo de um gato com surdez (Lomber <i>et al</i> , 2011)	42
Figura 7: nível de coerência de movimento (%) necessário para um determinado desempenho por parte do grupo com surdez. A curva vermelha corresponde ao espaço visual central e as curvas verde e azul ao espaço periférico, em que a verde diz respeito ao eixo meridiano e a azul ao eixo azimute	55
Figura 8: percentagem de desempenho em função da percentagem do nível de coerência de movimento no grupo de participantes sem surdez. A curva vermelha corresponde ao espaço visual central, a curva verde ao eixo meridiano e a azul ao eixo azimute	55
Figura 9: percentagem de desempenho correcto em função da coerência de movimento no grupo com surdez. A curva azul corresponde ao desempenho à esquerda e a curva roxa ao desempenho à direita	57

Figura 10: desempenho correcto em função da coerência de movimento no grupo ouvinte. A curva azul corresponde ao desempenho à esquerda e a curva roxa ao desempenho à direita 58

Figura 11: percentagem de desempenho em função da coerência de movimento no grupo com surdez relativamente às localizações superior (curva castanha) e inferior (curva verde) 59

Figura 12: percentagem de desempenho em função da percentagem de coerência de movimento no grupo ouvinte nas localizações superior (curva castanha) e inferior (curva verde) 60

Índice de tabelas

Tabela 1: Informação demográfica dos participantes – idade 49

Tabela 2: Informação demográfica dos participantes – habilitações
académicas 49

Tabela 3: Caracterização audiológica do grupo com surdez 51

Tabela 4: análise por regressão múltipla com o limiar de coerência
de movimento necessário para um desempenho de 85% no eixo azimute
como variável dependente e três componentes como variáveis independentes.
Na tabela são apresentados os coeficientes beta e a significância estatística
para cada variável independente, bem como o valor de R^2 61

1. INTRODUÇÃO

Durante muito tempo considerou-se que as áreas corticais, pelo menos as envolvidas no processamento sensorial precoce, teriam conexões e propriedades relativamente fixas. No entanto, ao longo dos últimos anos verificou-se uma mudança radical relativamente a essa perspectiva, devido às inúmeras demonstrações de que a plasticidade dependente da experiência é uma propriedade universal do córtex, encontrando-se mesmo em áreas sensoriais primárias (Gilbert, 1999). Segundo Lomber, Meredith & Kral (2010), numa situação de privação de uma modalidade sensorial, o cérebro pode compensar esta ausência sensorial com um desempenho melhorado de outro, ou de outros sistemas sensoriais intactos.

Partindo de um vasto conjunto de estudos realizados neste contexto em indivíduos surdos, tais como Neville, Schmidt & Kutas (1983), Bavelier *et al* (2000), Bosworth & Dobkins (2002), Proksch & Bavelier (2002), Almeida *et al* (2013), Bottari, Caclin, Giard & Pavani (2011), Frasnelli, Collignon, Voss & Lepore (2011), o presente estudo tem como objectivo principal explorar a vantagem que os indivíduos com surdez congénita apresentam em tarefas visuais relativamente aos indivíduos com audição normal. De forma particular, avaliaram-se os resultados obtidos por indivíduos com surdez profunda numa tarefa de identificação da direcção de movimento, quando os estímulos são apresentados no centro e na periferia (direita, esquerda, superior e inferior), e compararam-se com os resultados obtidos por indivíduos com audição normal.

Pretende-se com este estudo verificar se os resultados de Almeida *et al* (2013), que demonstram que o córtex auditivo em indivíduos surdos congénitos apresenta representações mais definidas para a periferia visual horizontal do que para a periferia visual vertical, se reflecte também ao nível da plasticidade compensatória comportamental. A influência de variáveis como a idade de início da estimulação auditiva e os valores máximos de inteligibilidade será também investigada, de forma a tentar compreender o seu efeito no processamento visual do espaço central e periférico na população com surdez.

Este trabalho está dividido em quatro capítulos principais, nomeadamente Introdução, Metodologia, Análise de Resultados e Discussão. Na Introdução serão abordados alguns conceitos fundamentais para o tema em estudo, designadamente o conceito de surdez e a sua heterogeneidade, etiologia e classificação. Posteriormente, abordar-se-ão os conceitos de neuroplasticidade e de plasticidade compensatória, bem como os mecanismos associados a esta. Em seguida, serão descritos os resultados e conclusões de alguns estudos que, tanto numa perspectiva comportamental como numa perspectiva neuronal, evidenciam a existência de plasticidade compensatória na cegueira congénita e na surdez congénita, tanto em humanos como em animais.

No capítulo seguinte, referente à metodologia utilizada, abordar-se-ão as características gerais dos dois grupos de participantes no estudo, com um especial enfoque para o grupo com surdez. Seguidamente será feita uma descrição dos instrumentos e da tarefa do estudo, designadamente do estímulo utilizado e dos procedimentos aplicados. No final deste capítulo far-se-á também uma descrição da forma como foi feita a análise dos dados. O terceiro capítulo é relativo à análise dos resultados obtidos no grupo com surdez e no grupo sem surdez, sendo comparados os desempenhos entre as localizações visuais em estudo (centro, eixo horizontal/azimute e eixo vertical/meridiano), comparação essa feita dentro de cada grupo e entre grupos. Na Discussão, confrontar-se-ão os resultados obtidos, analisados no capítulo anterior, com os resultados obtidos em estudos anteriores, retirando-se a partir daí as principais conclusões deste trabalho.

1.1. Definição de surdez

1.1.1. Surdez vs déficit auditivo

Uma função auditiva comprometida é vulgarmente denominada por “perda auditiva” ou “déficit auditivo”. Este conceito não distingue, por si só, a área anatómica envolvida nessa mesma perda, ou a natureza funcional da mesma. Uma perda auditiva implica uma gravidade suficiente para pôr em causa a eficiência de um indivíduo nas actividades do seu quotidiano, no que respeita à comunicação (Davis, 1978).

De acordo com Davis (1978), o termo “surdez” é muitas vezes aplicado tanto a uma perda auditiva total como a uma perda parcial. As palavras *surdité* e *sordera*, respectivamente das línguas francesa e castelhana, têm este sentido alargado. No entanto, na língua inglesa utiliza-se a expressão *hard of hearing* (que veio substituir a expressão *partially deaf*), que em português remete para os indivíduos que apresentam um “déficit auditivo”.

Segundo a definição de Davis (1978), o conceito de “surdez” implica um déficit auditivo total ou, pelo menos bastante elevado, independentemente da causa. Um déficit auditivo e uma surdez implicam ambos uma perda de sensibilidade auditiva. Assim, os dois conceitos encontram-se na mesma dimensão, sendo que a grande questão está onde colocar a linha que os divide. Esta linha é influenciada por critérios sociais, educacionais e audiológicos. Davis (1978), adopta o critério social para a surdez, considerando que, de acordo com este, a comunicação auditiva quotidiana na surdez é inviável. Em termos de limiares auditivos, a zona situada entre os 70 e os 90dB é complexa e incerta na classificação de surdez/déficit auditivo. Nesta zona, alguns indivíduos são socialmente surdos mas, na maioria dos casos, são indivíduos que apenas apresentam um déficit auditivo, apresentando bons resultados funcionais com aparelhos auditivos.

Deste modo, apesar de Davis (1978) propor que a surdez está confinada a indivíduos que apresentam um déficit auditivo superior a 92dB, o sucesso com a utilização de aparelhos auditivos faz a diferença entre ser socialmente surdo e apresentar apenas um déficit auditivo, mesmo para indivíduos com limiares auditivos iguais ou superiores a 93dB.

1.1.2. Surdez vs déficit auditivo: perspectiva funcional

De acordo com Flexer & Madell (2008), o termo “hipoacusia” descreve qualquer tipo e grau de perda auditiva, enquanto os termos “déficit auditivo” e “surdez” têm uma conotação funcional. Estes termos não estão relacionados com a idade de início, ou com os limiares audiométricos, da perda auditiva. Assim, um indivíduo tem um déficit auditivo se fizer uma aquisição de linguagem auditivamente e se a informação recebida do

ambiente for também pela via auditiva. Tal significa que um indivíduo pode ter uma hipoacusia/perda auditiva de grau profundo mas, se com a intervenção tecnológica e auditiva conseguir fazer uma aquisição de linguagem auditivamente então, em termos funcionais, será um indivíduo que apresenta um déficit auditivo (Flexer & Madell, 2008).

Um indivíduo é funcionalmente surdo se fizer uma aquisição da linguagem principalmente pela via visual (por exemplo, através de uma língua gestual e leitura de fala) e se receber a maior parte da informação do ambiente que o rodeia também pela via visual. Deste modo, um indivíduo com uma determinada hipoacusia e que tem, em termos funcionais, um déficit auditivo, aproxima-se funcionalmente muito mais de um indivíduo com uma audição normal, do que de um indivíduo com surdez. Assim, um indivíduo que em termos funcionais e com o apoio de aparelhos auditivos e/ou de implantes cocleares, tem um déficit auditivo, acede e desenvolve os seus centros auditivos cerebrais de forma semelhante a um indivíduo com uma audição normal, ou seja, tem um “cérebro auditivo”; um indivíduo funcionalmente surdo não tem (Flexer & Madell, 2008).

Nesta tese optou-se pela utilização generalizada do termo “surdez”, atribuindo-lhe o sentido lato que tem nas línguas francesa e castelhana, independentemente do tipo, grau e etiologia de qualquer hipoacusia/perda auditiva, assim como das suas características funcionais.

1.2. Heterogeneidade da surdez

De acordo com Villalba (2008), diferentes características de um déficit auditivo originam diferentes repercussões. Ou seja, uma surdez unilateral irá diminuir a capacidade de localização do som; no entanto, não irá pôr em causa o desenvolvimento da linguagem, nem aspectos fundamentais da personalidade. Já os efeitos de uma surdez bilateral vão depender do grau de surdez, da idade de aparecimento da surdez (pré-lingual ou pós-lingual), do estado do ouvido e da cóclea, bem como das vias auditivas e dos centros auditivos, da idade de início de utilização de aparelhos auditivos/implante coclear e dos ganhos obtidos com estes, da educação recebida e da capacidade do ambiente escolar e familiar para a comunicação.

Os indivíduos com surdez, especialmente aqueles cuja surdez se manifesta antes da aquisição de linguagem, podem ser divididos em dois grupos distintos. Num desses grupos encontram-se os sujeitos cuja audição, apesar de não ser normal, é funcional com ou sem o apoio de aparelhos auditivos ou implante coclear. Assim, conseguem um domínio suficiente da língua oral, servindo-se dela como instrumento de comunicação, baseando os seus processos cognitivos em códigos fonológicos e verbais (Villalba, 2008).

O outro grupo engloba os indivíduos cuja audição, com ou sem recurso a ajudas técnicas, não é funcional, sendo que a sua percepção da fala e da realidade é eminentemente visual. Estes indivíduos percebem e incorporam a língua oral apoiando-se na visão, seja por gesto, leitura de fala, escrita ou outros. Estes indivíduos utilizam vários códigos para memorizar a informação, tais como códigos semânticos, fonológicos, visuospaciais, gráficos, entre outros. Muitas vezes o seu veículo de comunicação é a língua gestual.

Segundo Villalba (2008), a inclusão num ou no outro grupo era relativamente fácil até há alguns anos atrás. Os indivíduos referidos no primeiro grupo citado eram aqueles que apresentavam perdas auditivas menores, nunca superiores a 90dB. O outro grupo compreendia os indivíduos com perdas geralmente superiores a 90dB, o que tornava difícil a aprendizagem e compreensão da linguagem oral. Os implantes cocleares, assim como as próteses auditivas digitais mais recentes acabaram com esta divisão. Actualmente, a inclusão num ou no outro grupo, não depende tanto do grau de surdez mas sim, em grande parte, da precocidade da intervenção, dos ganhos obtidos com aparelhos auditivos, da capacidade de aprendizagem e de outros factores educativos.

1.3. Etiologia da surdez

1.3.1. Surdez congénita

De acordo com a ASHA – *American Speech-Language-Hearing Association* (n.d.) – o termo surdez congénita implica que esta esteja presente no momento do nascimento. Esta surdez pode ser hereditária ou ser originada por um problema intra-uterino (pré-natal) ou no momento do nascimento (péri-natal).

A prevalência de surdez congénita é de cerca de 1 a 3 em cada 1000 nascimentos, sendo esta a patologia mais comum no momento do nascimento. Os factores genéticos serão responsáveis por cerca de 50% dos casos de surdez congénita em crianças, sendo as restantes causas, ambientais e idiopáticas, correspondendo a cada uma delas 25% dos casos de surdez (Rehm & Madore, 2008).

1.3.2. Causas de surdez congénita

Relativamente à surdez genética, segundo Rehm & Madore (2008), esta é síndrómica em 30% dos casos (surgindo por exemplo em contexto de Síndrome de Alport, Usher, Pendred, Waardenburg, entre outros) e não síndrómica em 70% dos casos. No que concerne à surdez não síndrómica, 77% dos casos são de surdez autossómica recessiva,

22% autossómica dominante, 1% ligada ao cromossoma X e mitocondrial em menos de 1% dos casos. Todas as percentagens referidas são valores aproximados.

As causas mais comuns de surdez congénita não hereditária e desenvolvida no período pré-natal são as infecções do grupo STORCH (sífilis congénita, toxoplasmose, rubéola materna, citomegalovírus e o vírus herpes simples), a exposição a substâncias ototóxicas, a exposição a radiações, as doenças metabólicas maternas e hábitos tóxicos maternos (Rodríguez & Huarte, 2008).

Quanto ao período perinatal, as causas mais frequentes de surdez são a hipertensão pulmonar persistente no recém-nascido, hidrocefalia, hipóxia e hiperbilirrubinémia (Stach & Ramachandran, 2008).

1.3.3. Surdez adquirida

Por sua vez, a surdez adquirida surge após o nascimento e pode surgir em qualquer momento da vida em consequência de uma determinada patologia ou situação (ASHA, n.d.). São exemplos de causas de surdez adquirida, as otites médias e as respectivas complicações, a meningite, as doenças auto-imunes, as infecções virais, a ototoxicidade e a exposição ao ruído, entre outras (Stach & Ramachandran, 2008).

1.4. Classificação da surdez

Uma surdez pode ser classificada segundo vários critérios, destacando-se o grau, o tipo e o momento de aparecimento, tanto numa perspectiva cronológica como na relação com o período de aquisição de linguagem (Rodríguez & Huarte, 2008).

1.4.1. Grau de surdez

Segundo a recomendação 02/1 bis, de 1997, do Bureau International d'Audiophonologie (BIAP), a surdez pode ser classificada, em função do grau, em ligeira, moderada, severa, profunda e total (figura 1). Assim, considera-se que um indivíduo tem uma audição normal quando a média dos seus limiares auditivos (considerando as frequências de 500, 1000, 2000 e 4000Hz) é igual ou inferior a 20dB.

Verifica-se uma surdez ligeira quando a média dos limiares auditivos se situa entre os 21 e os 40dB. A fala é percebida num tom de voz normal, verificando-se dificuldades se a voz estiver distante. A maioria dos sons do meio ambiente é perceptível.

Numa surdez moderada, a fala é percebida num tom de voz alto. Um indivíduo com este grau de surdez irá compreender melhor o que lhe é dito se o seu interlocutor estiver no seu campo de visão. Mantém-se também a percepção de alguns ruídos de fundo quotidianos. A surdez moderada pode ser de grau I ou II. Quando é de grau I, a média dos limiares auditivos situa-se entre os 41 e os 55dB. Se for de grau II, a média dos limiares auditivos será entre os 56 e os 70dB (BIAP, 1997).

Quando a média dos limiares auditivos está entre os 71 e os 90dB, a surdez é de grau severo, sendo severa de grau I entre os 71 e os 80dB e, de grau II entre os 81 e os 90dB. A fala é percebida apenas se a voz for muito alta e perto do ouvido. Relativamente aos sons ambientais, há apenas a percepção dos mais altos (BIAP, 1997).

Numa surdez profunda não há qualquer percepção da fala e há percepção apenas de ruídos muito altos. Esta é de grau I quando a média dos limiares se situa entre os 91 e os 100dB, de grau II quando a média está entre os 101 e os 110dB e de grau III quando está entre os 111 e os 119dB. Se a média dos limiares auditivos for igual ou superior a 120dB, não há percepção de nenhum estímulo auditivo. Este quadro designa-se por surdez total ou cofose (BIAP, 1997).

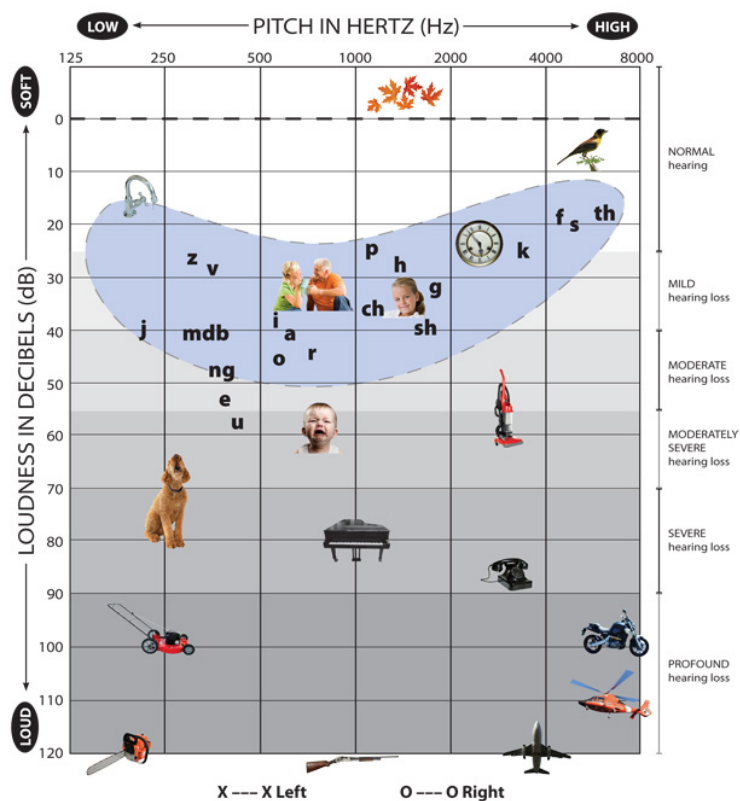


Figura 1: distribuição dos sons de fala e dos sons ambientais pelo quadro audiométrico, em função da intensidade e da frequência (<http://audio-accessibility.com/wp-content/uploads/2012/02/audiogram.jpg>).

1.4.2. Tipo de surdez

A classificação segundo o tipo está relacionada com a localização da lesão responsável pela surdez (Rodríguez & Huarte, 2008), podendo ser classificada como sendo de condução, sensorineural ou mista.

1.4.2.1. Surdez de condução

De acordo com Stach & Ramachandran (2008), a surdez de condução é causada por uma atenuação do som quando este viaja do ouvido externo até à cóclea. Quando a surdez é causada por um problema ao nível do ouvido externo, verificam-se perturbações na recolha e amplificação do som. No caso de ser ao nível do ouvido médio, haverá perturbações no sistema mecânico que transforma e envia as ondas de pressão sonora (aéreas) até à cóclea, no ouvido interno, onde circulam através de um movimento fluido. Assim, neste tipo de surdez verifica-se uma atenuação/enfraquecimento do som que é enviado para a cóclea. Uma malformação do ouvido externo ou do ouvido médio, bem como uma otite média, podem ser causa de uma surdez de condução.

1.4.2.2. Surdez sensorineural

Segundo Stach & Ramachandran (2008), uma surdez sensorineural, que pode ser sensorial ou neural, é causada por uma falha na transdução coclear do som, proveniente das vibrações mecânicas do ouvido médio, para os impulsos neurais do VIII par craniano. Neste caso é o componente sensorial que se encontra afectado. Assim, os distúrbios sensoriais podem ocorrer a partir de quaisquer alterações da estrutura e funcionamento coclear, embora as estruturas mais vulneráveis pareçam ser as células ciliadas externas do órgão de Corti, que são responsáveis pela sensibilidade e sintonização fina da cóclea. A perda de sensibilidade auditiva é a grande característica deste tipo de surdez, que pode ir de grau ligeiro até grau profundo. A surdez sensorial é normalmente permanente e por vezes flutuante. Dependendo da causa, pode ser também progressiva. A surdez sensorial pode ser causada, por exemplo, por malformações do ouvido interno, citomegalovirus, sífilis, meningite e ototoxicidade, entre outras.

A neuropatia auditiva tem, por sua vez, uma origem neural. Foi descrita inicialmente como um distúrbio específico do nervo auditivo que resulta de uma perda de sincronia neural. A causa da neuropatia auditiva é muitas vezes desconhecida, embora possa ser observada nalguns síndromes de patologia periférica. A perda de sensibilidade auditiva varia desde uma audição normal até uma surdez profunda, sendo esta surdez muitas vezes flutuante e progressiva. A hiperbilirrubinémia, a hidrocefalia e a hipóxia podem ser causas de surdez neural (Stach & Ramachandran, 2008).

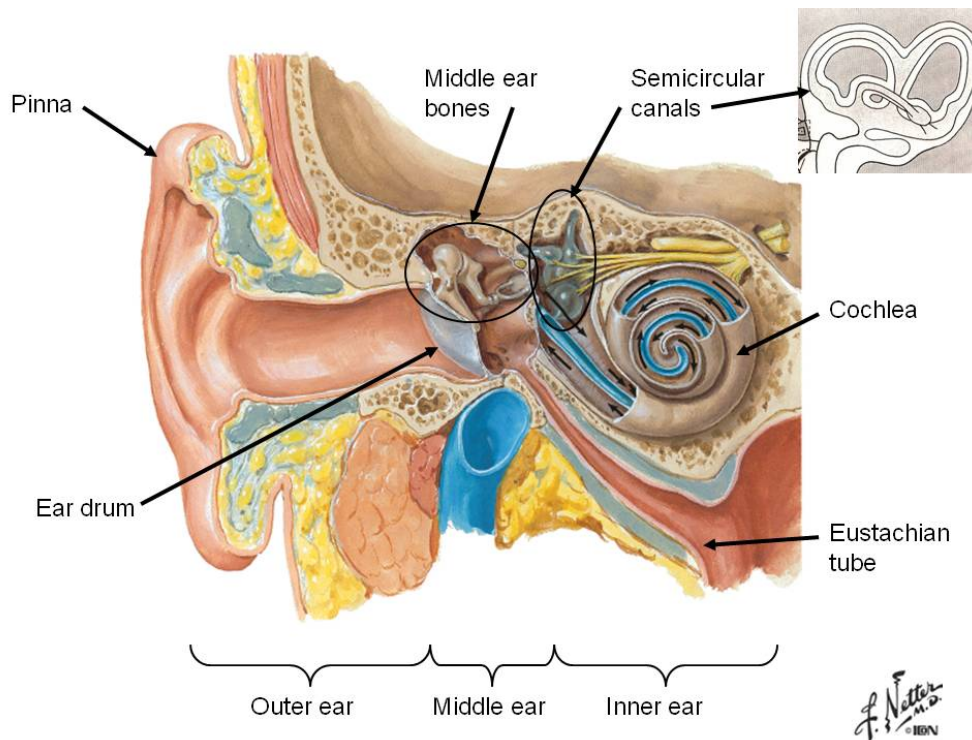


Figura 2: Anatomia do ouvido (<http://www.stanford.edu/class/me220/data/lectures/lect01/ear.jpg>).

1.4.2.3. Surdez mista

A surdez mista resulta da combinação de uma surdez ao nível do componente sensorineural e do componente de condução, no mesmo ouvido. Pode ser causada por dois distúrbios independentes no mesmo ouvido, ou por um único distúrbio que afecta simultaneamente o componente de condução e o sensorineural (Gelfand, 2001).

1.4.3. Surdez pré-lingual e pós-lingual

Relativamente ao momento de início do aparecimento da surdez, de acordo com Sadato *et al* (2004), a surdez pode ser classificada como pré-lingual quando o seu início ocorre antes da aprendizagem da linguagem falada. Indivíduos com surdez pré-lingual podem já apresentar surdez no momento do nascimento ou manifestá-la antes do desenvolvimento das bases gramaticais da sua língua materna, o que normalmente ocorre antes dos 5 anos de idade. A surdez pós-lingual consiste na perda do sentido auditivo, tanto de forma accidental como por uma perda progressiva, após a aquisição de uma língua materna.

1.5. Neuroplasticidade

1.5.1. Conceito de plasticidade funcional

Para Gilbert (1999), as propriedades dos neurónios e a arquitectura funcional do córtex cerebral são dinâmicas, estando em constante modificação pela experiência e pelo contexto ambiental. Associado à plasticidade funcional está um processo de modificação de circuitos, ou pela força de um dado input sináptico, ou pelo surgimento de axónios e pela sinaptogénese. A plasticidade pode existir perante determinadas condições, incluindo uma recuperação funcional após lesões de estruturas sensoriais periféricas ou centrais, memória espacial e adaptação visuo-motora, entre outras.

1.5.2. Neuroplasticidade ao nível dos córtices sensoriais

De acordo com Ramachandram (1993), as áreas dos córtices sensoriais, particularmente as que representam os estágios iniciais das vias sensoriais, apresentam uma representação topográfica específica que tem em conta características dos estímulos que processa. Deste modo, o córtex somatossensorial apresenta um mapa relativo ao corpo humano (somatotopia), o córtex auditivo contém um mapa topográfico das diferentes frequências (tonotopia), o córtex visual tem uma representação da localização dos estímulos visuais no campo visual-retina (retinotopia). A integridade destes mapas depende de uma estimulação contínua e permanente.

A ausência ou interrupção do input de qualquer uma das áreas sensoriais acima referidas, por exemplo pela amputação de um dedo, ou por uma lesão retiniana, conduz a uma reorganização dos mapas corticais. As mudanças nos mapas somatotópicos, que se verificam após a amputação de um dedo, constituíram inclusivamente algumas das evidências iniciais sobre a plasticidade cortical em adultos. A amputação de uma parte do corpo, ou o seccionamento de um nervo sensorial, faz com que a área do córtex inicialmente representada seja remapeada de forma a representar as partes do corpo adjacentes. Assim, as lesões retinianas conduzem a uma redução da representação cortical das partes lesionadas da retina e a uma expansão na representação da parte da retina adjacente à lesão (Ramachandram, 1993).

Knudsen & Brainard (1995) evidenciaram a capacidade de adaptação sensoriomotora ao verificarem que no *tectum* do mocho (porção mais posterior do mesencéfalo, que é análoga ao colículo superior dos mamíferos), existem mapas sobrepostos do espaço visual e auditivo. Ao serem colocados prismas sobre os olhos do mocho, que originam mudanças no mapa visual, verifica-se uma mudança compensatória no mapa auditivo, continuando a existir uma sincronização entre os dois mapas, para uma dada elevação e azimute no mundo exterior. Isto permite que o mocho faça movimentos precisos em

direcção a alvos específicos, para agarrar as presas, detectadas por pistas visuais e auditivas.

1.6. Plasticidade compensatória

1.6.1. Fundamentos da plasticidade compensatória

Segundo Merabet & Pascual-Leone (2010), as adaptações que os indivíduos cegos e surdos fazem relativamente à sua perda sensorial, de forma a integrarem-se no ambiente que os rodeia, são indissociáveis de mudanças em várias áreas do cérebro. Estas mudanças compensatórias envolvem não apenas as áreas do cérebro que são responsáveis pelo processamento dos restantes sentidos, mas também áreas que normalmente surgem associadas ao processamento da modalidade sensorial perdida. Além disso, estas mudanças podem traduzir-se em capacidades comportamentais e níveis de desempenho em tarefas que podem ser iguais, ou mesmo até superiores, aos de indivíduos com as funções sensoriais intactas (Merabet & Pascual-Leone, 2010).

1.6.2. Definição de plasticidade compensatória

Genericamente, o conceito de plasticidade compensatória refere-se à reorganização adaptativa de neurónios para integrarem a função de uma nova modalidade sensorial, após a perda de outra (Frasnelli *et al*, 2011). De acordo com Bavelier & Neville (2002), a maturação e/ou o recrutamento de uma área sensorial, privada do respectivo estímulo, pode resultar numa estabilização anormal das conexões normalmente transitórias das restantes áreas sensoriais.

1.6.3. Distribuição não uniforme da plasticidade compensatória

Vários estudos têm verificado um melhor desempenho de indivíduos cegos, relativamente àqueles que apresentam uma visão normal, em tarefas auditivas e somatossensoriais (Weeks *et al*, 2000; Sathian, 2000; Voss *et al*, 2004), verificando-se o mesmo relativamente a tarefas visuais e tácteis quando desempenhadas por indivíduos com surdez (Levänen & Hamdorf, 2001; Bavelier *et al*, 2000; Bavelier & Neville, 2002; Lomber, Meredith & Kral, 2010). No entanto, os resultados acumulados têm tornado evidente que nem todos os aspectos das modalidades sensoriais substitutas são igualmente representados. Assim, mais do que uma melhoria global generalizada, verifica-se que apenas alguns aspectos da modalidade substituta são afectados pela plasticidade compensatória (Meredith *et al*, 2011).

Em termos corticais, a plasticidade compensatória não apresenta um efeito de distribuição uniforme. Apesar de ser aceite que toda a área desocupada por uma modalidade sensorial alterada ou ausente possa estar disponível para uma inervação compensatória, esta suposição não é suportada pelos resultados dos estudos com indivíduos com surdez precoce (Meredith *et al*, 2011). Assim, por exemplo em relação ao córtex auditivo primário, este parece ser inervado, após uma surdez precoce, apenas parcialmente pelos inputs intermodais (Finney, Fine & Dobkins, 2001). No entanto, verifica-se uma reorganização visual significativa da área auditiva posterior e da área auditiva dorsal (Lomber, Meredith & Kral, 2010).

De acordo com Meredith *et al* (2011), ainda se desconhecem os factores que seleccionam uma determinada região privada da respectiva modalidade sensorial para reorganização, e as respectivas modalidades sensoriais envolvidas. No entanto, sabe-se que a área auditiva posterior de animais com audição normal está envolvida na localização auditiva, enquanto que a mesma região em animais com surdez congénita está associada às melhorias evidentes na localização visual de alvos periféricos (Lomber, Meredith & Kral, 2010). Assim, parece plausível que o papel comportamental de uma área reorganizada esteja relacionado com o seu papel nos indivíduos com audição/visão normal (Meredith *et al*, 2011).

1.7. Mecanismos de plasticidade compensatória

Continuam a existir grandes dúvidas sobre os mecanismos específicos que estão subjacentes à plasticidade compensatória e sobre as bases neurais dos comportamentos adaptativos e compensatórios. No entanto, os estudos com animais têm fornecido dados importantes sobre as bases fisiológicas, comportamentais e anatómicas destes mecanismos. Tal como nos resultados descritos em indivíduos humanos cegos, os modelos animais de privação auditiva evidenciam também mudanças compensatórias (Merabet & Pascual-Leone, 2010). A compreensão sobre os mecanismos que estão envolvidos na plasticidade compensatória é central para a compreensão básica da diferenciação dos sistemas sensoriais, e tem implicações importantes para o sucesso dos implantes cocleares e de outros implantes sensoriais (Bavelier & Neville, 2002).

Nos parágrafos seguintes serão discutidos alguns dos mecanismos mediadores de mudanças plásticas.

1.7.1. Mudanças na conectividade local

As mudanças na conectividade local verificam-se nos organismos em desenvolvimento; embora possam também ser observadas em adultos, são mais extensivas em indivíduos

jovens. Apesar das mudanças nos mapas sensoriais serem limitadas pela organização topográfica dos córtices sensoriais, a organização em grande escala pode, não obstante, ser observada secundariamente a mudanças na conectividade horizontal, ou a amplas repercussões da reorganização ao nível do tálamo e do tronco cerebral (Das & Gilbert, 1995; Florence, Taub & Kaas, 1998). Este último tipo de reorganização referido parece mediar o remapeamento das áreas auditivas de corujas, que foram aumentadas através de prismas visuais (Hyde & Knudsen, 2002), e o remapeamento do córtex somatossensorial de macacos adultos, após a desactivação das aferências da mão (Jones & Pons, 1998).

1.7.2. Mudanças na conectividade subcortical

A plasticidade compensatória pode também estar subjacente à reorganização da conectividade subcortical em larga escala. No entanto, esta forma de plasticidade poderá verificar-se apenas em organismos em desenvolvimento e depender da estabilização de vias normalmente transitórias e redundantes (Bavelier & Neville, 2002). Este mecanismo de plasticidade compensatória verifica-se, por exemplo, nos ratos-toupeira congenitamente cegos. Neste animal subterrâneo, a inervação retiniana é dispersa, há uma degeneração parcial das estruturas visuais e o mapeamento cortical do espaço visual é impreciso (Cooper, Herbin & Nevo; 1993). No entanto, tem-se verificado que o córtex occipital não degenerado é ocupado tanto por representações auditivas como por representações somatossensoriais, dependendo das espécies. No caso de uma “colonização auditiva” de uma espécie, os resultados dos estudos evidenciam uma alteração nas projecções desde o colículo inferior até ao tálamo, levando a um recrutamento do córtex occipital não degenerado, pelo estímulo auditivo (Bavelier & Neville, 2002).

A pouca informação disponível indica que as mudanças em grande escala nas conexões subcorticais são raras em adultos. Se essa reorganização é o cerne da reorganização compensatória, a adaptação a implantes é susceptível de ser lenta e difícil, especialmente em adultos. Esta visão é suportada pelas evidências de que a surdez congénita conduz a défices nas ligações cortico-talâmicas e cortico-corticais, corrigíveis por implantes cocleares apenas se a implantação for feita durante o período sensível do sistema auditivo (Kral, Hartmann, Tillein, Heid, Klinke, 2001; Klinke, Kral, Heid, Tillein & Hartmann, 1999).

1.7.3. Mudanças no feedback córtico-cortical

Este é outro mecanismo possível para a reorganização compensatória, sendo a sua eficácia valorizada, por exemplo, na modelação de respostas neuronais ao nível das áreas sensoriais primárias (Pascual-Leone & Walsh, 2001; Bullier, 2001).

A proposta de que o feedback córtico-cortical, especialmente do córtex parietal, pode ser uma fonte de reorganização compensatória, tem sido defendida com base em alguns estudos neuroimagiológicos com indivíduos surdos ou cegos. Por exemplo, há um aumento da conectividade funcional entre o córtex parietal e as áreas visuais iniciais nos indivíduos com surdez quando prestam atenção ao campo visual periférico (Bavelier *et al*, 2000; Weeks *et al*, 2000). O alcance das mudanças plásticas que se baseiam nas modificações de conectividade de feedback ainda são desconhecidas, mas esta ligação parece ser mais susceptível a modificações após colocação de implante coclear ou após outros tipos de experiência alterada, o que se verifica mesmo em adultos (Bavelier & Neville, 2002).

1.7.4. Mudanças na conectividade córtico-cortical de longo alcance

Um mecanismo alternativo e que pode ser considerado mais hipotético, consiste na estabilização de conexões córtico-corticais de longo alcance entre modalidades sensoriais (Bavelier & Neville, 2002). Tais conexões intermodais foram descritas em gatos e hamsters (Innocenti, 1995) com um baixo nível de maturidade e posteriormente em primatas com um nível de maturidade superior (Falchier, Barone, Kennedy & Renault, 2001).

Segundo Falchier *et al* (2001) há uma via considerável desde o córtex auditivo primário até à zona que representa a visão periférica no córtex visual primário de macacos adultos. A degeneração desta conexão em indivíduos com surdez pode reduzir as interações entre as projecções visuais e auditivas nesta zona de convergência que faz a mediação da visão periférica, permitindo o aumento das capacidades visuais na periferia, a qual é notória nos indivíduos surdos adultos. De igual modo, um reforço da conexão A1-V1 nos indivíduos cegos, devido a ausência de input da via visual, poderia justificar o recrutamento de V1 durante o processamento da linguagem oral (Bavelier & Neville, 2002).

1.8. Efeitos da plasticidade compensatória em indivíduos cegos – nível comportamental

Lessard, Pare, Lepore & Lassonde (1998) investigaram as capacidades de localização auditiva de indivíduos com cegueira precoce, sob condições de audição monoaural e binaural. Estes autores demonstraram que tanto indivíduos cegos como indivíduos com visão normal conseguem localizar sons apresentados numa situação de binauralidade, o que é sugestivo de que a visão não é necessária para a construção de um mapa auditivo tridimensional do espaço. No entanto, os indivíduos cegos tiveram um desempenho significativamente melhor que os indivíduos normo-visuais na localização do som, em situação monoaural, ou seja, com um dos ouvidos tapados. Pelos resultados obtidos,

Lessard *et al* (1998) concluíram que os indivíduos cegos apresentam algumas capacidades auditivas melhoradas em comparação com os indivíduos com visão normal.

Tal como se verificou nos resultados obtidos por Lessard *et al* (1998), os resultados de vários estudos semelhantes revelam que os indivíduos cegos podem usar pistas espaciais (espectrais) subtile de forma mais eficiente que os normo-visuais (Frasnelli *et al*, 2011). Os estudos com indivíduos cegos evidenciam também que estes têm desempenhos superiores aos dos indivíduos com visão normal, em tarefas de localização binaural, quando a fonte sonora se localiza em posições periféricas, em oposição às tarefas de localização com a fonte sonora localizada numa posição mais central (Frasnelli *et al*, 2011).

Ainda assim, os resultados da maioria dos estudos com indivíduos cegos dizem respeito a uma audição espacial próxima, ou seja, a uma região em que as representações auditivas podem ser apoiadas pela experiência sensoriomotora, seja, por exemplo, através do toque na fonte sonora ou pelo uso de bengala. No entanto, Voss *et al* (2004) verificaram que os indivíduos cegos conseguem mapear também pistas auditivas provenientes de localizações mais distantes. Na sua experiência, Voss *et al* (2004) demonstraram ainda pela primeira vez que, apesar de a maioria dos estudos considerar que estas mudanças se verificam apenas em indivíduos com cegueira precoce (que nos primeiros anos de vida apresentam maiores níveis de sinaptogénese que poderão influenciar a reorganização compensatória), os indivíduos com cegueira de instalação mais tardia também desenvolveram capacidades supranormais. Deste modo, para Voss *et al* (2004) a plasticidade compensatória pode ocorrer também na idade adulta.

Outros estudos, como o de Wan, Wood, Reutens & Wilson (2010) concluíram que apenas os indivíduos com cegueira precoce, e não aqueles com cegueira tardia, apresentam um melhor desempenho que os indivíduos com visão normal no tipo de tarefas referido.

1.9. Efeitos da plasticidade compensatória em indivíduos cegos – nível neuronal

De acordo com Frasnelli *et al* (2011), a Estimulação Magnética Transcraniana (TMS), que induz uma perturbação transitória e localizada no funcionamento de uma determinada área, pode ser utilizada para demonstrar a importância da actividade do córtex occipital, de indivíduos cegos, durante a leitura em Braille e durante o processamento verbal.

A TMS aplicada no córtex extra-estriado dorsal direito interfere com a localização de sons em indivíduos cegos. Em contraste, a actividade da TMS na mesma área cortical, não tem qualquer efeito no desempenho auditivo de indivíduos normo-visuais e não interfere com a discriminação de frequência e de intensidade nos indivíduos cegos. A demonstração de que uma perturbação transitória do córtex occipital por TMS afecta,

selectivamente, o processamento auditivo dos indivíduos cegos, quando comparados com os normo-visuais, evidencia que esta área “visual” está funcionalmente ligada à rede neuronal subjacente à capacidade auditiva (Frasnelli *et al*, 2011).

No estudo de Collignon *et al* (2011) comparou-se, com recurso a Ressonância Magnética Funcional (RMf), a actividade cerebral de indivíduos com cegueira congénita, que também foi comparada com a de indivíduos normo-visuais, ao nível do processamento das propriedades espaciais e frequenciais dos sons. Para além de se ter verificado um recrutamento considerável do córtex occipital para o processamento de sons nos indivíduos cegos, os resultados evidenciaram também um processamento audio-espacial maioritariamente recrutado por regiões da via dorsal occipital conhecidas pelo seu papel visuo-espacial em indivíduos com visão normal. Além disso, verificou-se que estas regiões occipitais reorganizadas eram uma parte de uma rede cerebral extensa, que incluía regiões subjacentes às capacidades espaciais audio-visuais. Assim, Collignon *et al* (2011) concluíram que algumas regiões da via occipital dorsal direita não necessitam de input visual para se especializarem no processamento de informação espacial e para se integrarem funcionalmente numa rede cerebral pré-existente associada a esta capacidade.

1.10. Efeitos da plasticidade compensatória em indivíduos surdos: evidências do período crítico para o desenvolvimento auditivo

Tal como o sistema visual, o sistema auditivo passa por um período crítico de desenvolvimento, no qual os circuitos e conexões se estabelecem e se aperfeiçoam pela experiência. Durante este período, a maturação funcional do processamento auditivo está dependente de uma experiência auditiva adequada (Lomber, Meredith & Kral, 2011).

Uma demonstração da importância deste período crítico está na relação entre o sucesso dos implantes cocleares e o momento de implantação. De acordo com Lomber *et al* (2011), os indivíduos com surdez congénita que recebem implante coclear numa fase precoce da infância, conseguem desenvolver completamente as suas competências linguísticas, enquanto indivíduos implantados numa fase mais tardia não desenvolvem capacidades linguísticas tão sofisticadas. Os aspectos específicos do sistema auditivo que estão subjacentes a estes défices persistentes permanecem ainda por identificar (Lomber *et al*, 2011).

Com base em dados imagiológicos e electrofisiológicos, alguns investigadores consideram que tais défices são uma consequência da plasticidade compensatória, que adapta a parte não funcional do sistema auditivo noutros sistemas sensoriais. Por exemplo, Lee *et al* (2001) verificaram que perante um restabelecimento funcional através de mecanismos

de plasticidade compensatória, o córtex auditivo de uma criança com surdez pré-lingual já não irá responder adequadamente à estimulação com implante coclear colocado após esse restabelecimento funcional. Para Lee *et al* (2001), nestes casos, os substractos neurais do córtex auditivo poderão ficar permanentemente associados a outros processos cognitivos. Também Doucet, Bergeron, Lassonde, Ferron & Lepore (2006) verificaram uma reorganização compensatória profunda em indivíduos com um mau desempenho funcional com implante coclear, enquanto que os indivíduos que apresentavam um bom desempenho funcional, evidenciavam uma reorganização intramodal.

Os efeitos da plasticidade compensatória em indivíduos com surdez verificam-se tanto ao nível comportamental, como ao nível neuronal (neste caso, tanto numa perspectiva electrofisiológica como imagiológica). Os efeitos resumem-se à vantagem, a favor do espaço periférico, no processamento do estímulo visual (Frasnelli *et al*, 2011; Lomber *et al*, 2011; Neville & Lawson, 1987). Outros estudos, como o de Almeida *et al* (2013), consideram ainda que esta vantagem é particularmente ao nível da periferia horizontal/azimute e não da vertical/meridiano. De acordo com Frasnelli *et al* (2011), estas vantagens ao nível do processamento visual encontram-se limitadas a áreas específicas da cognição visual, não estando alargadas a toda a cognição visual. Por exemplo, não se verificam vantagens ao nível dos limiares sensoriais visuais.

1.11. Efeitos da plasticidade compensatória em indivíduos surdos – nível comportamental

As compensações comportamentais que se verificam em indivíduos cegos, ao nível da periferia, verificam-se também em indivíduos surdos. Ou seja, quando estas compensações são observadas no processamento do estímulo visuo-espacial, em indivíduos surdos verificam-se apenas no campo visual periférico. De acordo com Frasnelli *et al* (2011) tais compensações poderão estar relacionadas com o facto de as diferenças de desempenho surgirem preferencialmente em condições em que a tarefa é mais dificultada.

1.11.1. Evidências de modelos animais

As compensações específicas que se verificam no processamento do estímulo visuo-espacial, por parte dos indivíduos surdos foram exploradas no estudo de Lomber *et al* (2011). Estes autores testaram a capacidade de localização visual nos gatos, avaliando a sua precisão a localizar, por orientação e aproximação, um ponto luminoso posicionado em intervalos de 15 graus até 180 graus de azimute. Nos ouvintes controlo, verificou-se um desempenho óptimo no espaço visual central, mas a precisão na localização foi

menor nos alvos testados na periferia (60 a 90 graus). Em contraste, o desempenho ao nível da localização visual, dos gatos com surdez, manteve altos valores de precisão mesmo no espaço visual mais periférico. Este desempenho do grupo com surdez foi melhor para as posições periféricas, sendo as diferenças estatisticamente significativas na comparação com o grupo sem surdez, enquanto que as diferenças ao nível do centro não foram estatisticamente significativas.

Numa segunda parte da mesma experiência, também com gatos, Lomber *et al* (2011) aplicaram seis testes visuais, num sistema de escolha entre duas alternativas de resposta, para determinar vários limiares psicofísicos. Nos gatos ouvintes, os limiares de detecção de movimento foram de $1,3 \pm 0,4^\circ/\text{s}$, estando de acordo com os resultados de estudos anteriores. Por sua vez, os limiares de detecção de movimento dos gatos surdos foram significativamente melhores, nomeadamente de $0,5 \pm 0,2^\circ/\text{s}$. Relativamente aos restantes testes da função visual – acuidade visual, acuidade de Vernier, discriminação de orientação, discriminação da direcção de movimento e discriminação de velocidade – o desempenho dos gatos com surdez não foi significativamente melhor que o dos gatos sem surdez. Assim, os autores verificaram que os gatos com surdez congénita, na sua comparação com os ouvintes, apresentam capacidades visuais supranormais, embora as mesmas sejam bastante específicas, designadamente uma localização visual superior na periferia e limiares de detecção de movimento visual mais baixos.

1.11.2. Estudos e resultados com indivíduos humanos

Tal como seria expectável, atendendo aos resultados dos estudos com animais, os indivíduos humanos com surdez evidenciam também um melhor desempenho que os ouvintes em determinadas condições. Bavelier *et al* (2006) consideram altamente específicas as alterações ao nível da cognição visual, em consequência de uma surdez congénita. De acordo com estes autores, os limiares sensoriais visuais são semelhantes entre surdos e ouvintes, designadamente ao nível da discriminação de brilho, diferentes aspectos da sensibilidade ao contraste ou direcção e velocidade de um movimento.

Assim, várias experiências têm evidenciado uma atenção periférica aumentada nos indivíduos surdos. Por exemplo, na experiência de Proksch & Bavelier (2002) foram estudados 10 indivíduos com surdez congénita (igual ou superior a 85dB), exposição a língua gestual antes dos 3 anos de idade e com pelo menos um dos progenitores surdo; foram estudados ainda 12 indivíduos ouvintes e um terceiro grupo de 6 indivíduos ouvintes que eram filhos de pais surdos e com uma exposição precoce (antes dos 3 anos de idade) à língua gestual. Os participantes tinham como tarefa decidir, com a maior rapidez e precisão possíveis, se surgia um quadrado ou um losango numa determinada zona alvo, definida por seis círculos cuja disposição formava um anel. A dificuldade da tarefa era manipulada pelo aparecimento de formas na zona alvo (factor de sobrecarga). As formas que não apareciam na zona alvo (dentro de um dos seis círculos) designavam-

se por distractores, os quais podiam surgir no centro ou na periferia. Os participantes foram instruídos para ignorar os distractores. As formas destes podiam ser as mesmas da própria tarefa ou então formas neutras.

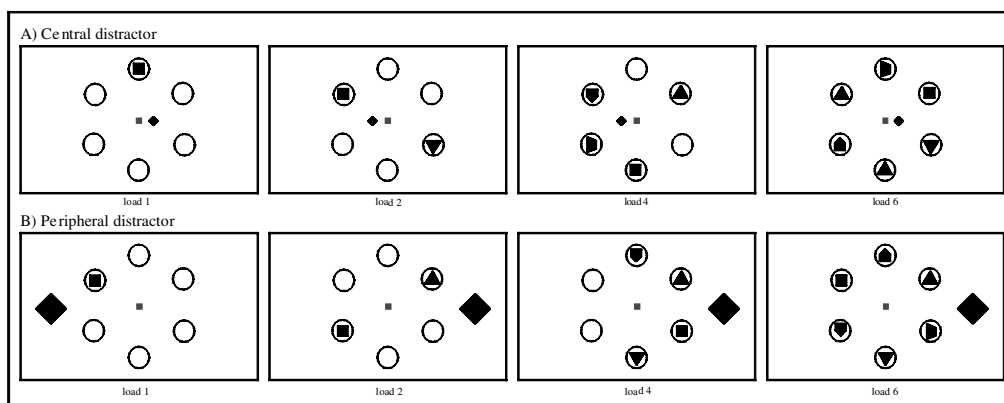


Figura 3: Protocolo utilizado no estudo de Proksch & Bavelier (2002). Na imagem é possível observar os distractores centrais e periféricos, bem como os vários factores de sobrecarga (Proksch & Bavelier, 2002).

Os autores demonstraram que a distribuição espacial da atenção era diferente entre os indivíduos surdos e os ouvintes. Assim, verificaram efeitos opostos ao nível dos distractores centrais e periféricos entre os dois grupos referidos. Os distractores periféricos tiveram uma influência maior nos indivíduos surdos, enquanto que os distractores centrais influenciaram mais os indivíduos ouvintes. Este padrão de resultados suporta a perspectiva de uma mudança dos recursos atencionais do centro para a periferia nos indivíduos com surdez (Proksch & Bavelier, 2002).

Proksch & Bavelier (2002) excluíram a possibilidade de a simples exposição precoce a uma língua visuo-espacial ser a explicação para a redistribuição da atenção espacial observada nos participantes surdos, pois todos os indivíduos ouvintes apresentaram resultados semelhantes.

Numa outra experiência, desenvolvida por Bosworth & Dobkins (2002), foram estudados 16 indivíduos com surdez (igual ou superior a 80dB), cuja língua principal era uma língua gestual, 10 indivíduos sem surdez, mas cuja língua materna era também uma língua gestual por serem filhos de pais surdos e 15 indivíduos sem surdez e sem quaisquer conhecimentos de língua gestual.

A tarefa utilizada por Bosworth & Dobkins (2002) era uma tarefa de detecção da direcção de movimento. Relativamente ao estímulo, era apresentado um campo de fundo preto no qual se moviam pontos brancos de forma estocástica. Uma percentagem destes pontos movia-se de forma coerente numa determinada direcção, que poderia ser para a

esquerda ou para a direita, enquanto os restantes pontos, designados pelos autores como “ruído”, se moviam de forma aleatória. A trajetória de cada movimento de ponto tinha a duração de 100ms, após os quais desaparecia e reaparecia numa localização aleatória, movendo-se novamente de forma coerente. As localizações dos pontos de “ruído” variavam aleatoriamente de ensaio para ensaio, tal como a percentagem de coerência de movimento, que variava entre os 2 e os 30%, de forma a obter um limiar de movimento coerente, correspondente à percentagem de coerência de movimento necessária para atingir uma discriminação direccional correcta de 75% (Bosworth & Dobkins, 2002).

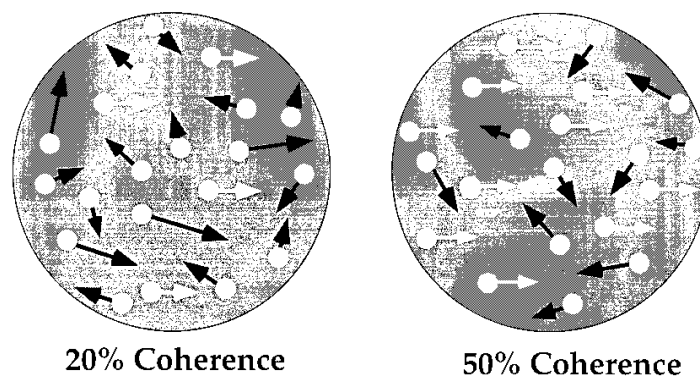


Figura 4: Representação esquemática do protocolo utilizado por Bosworth & Dobkins (2002). Na imagem da esquerda a coerência de movimento é de 20%, enquanto que na imagem da direita é de 50% (Bosworth & Dobkins, 2002).

Foram testadas cinco localizações visuais, sendo uma central e quatro periféricas, em que as periféricas eram: esquerda superior, direita superior, esquerda inferior e direita inferior. A excentricidade vertical era de aproximadamente 9 graus do ângulo visual e a horizontal de 12,5 graus do ângulo visual. Os valores de excentricidade escolhidos estão relacionados com a distância típica no espaço gestual das mãos para a fixação. Os participantes foram instruídos para fixarem sempre um ponto verde que se encontrava no centro do ecrã. Tanto para os estímulos visuais como para os periféricos, os participantes tinham que responder se a direcção de movimento era para a esquerda ou para a direita, sendo que para isso pressionavam um de dois botões. Nas respostas incorrectas era dado um feedback negativo, o qual consistia num círculo branco que surgia durante 200ms. Os participantes não foram instruídos para terem em conta o factor tempo de resposta (Bosworth & Dobkins, 2002).

Nesta experiência, as localizações periféricas e central foram testadas em blocos separados. A localização central foi testada num bloco único, sendo a duração do estímulo de 200ms. Ao nível das localizações periféricas, os autores utilizaram quatro condições diferentes: duas durações de estímulo (200 e 600ms) e duas condições de estímulo (com e sem pistas). A diferença entre estas duas últimas condições referidas

está no facto de numa os participantes desconhecerem a localização em que ia aparecer o estímulo, sendo que pressionavam uma tecla e 50ms depois o estímulo desse ensaio surgia em qualquer uma das localizações periféricas. Na outra condição os participantes eram alertados para a localização do estímulo, aparecendo primeiramente um quadrado nesse local. A presença deste tipo de pistas na experiência foi explicada inicialmente aos participantes, de forma a que estes dessem atenção ao local em que aparecia o quadrado no início de cada ensaio (Bosworth & Dobkins, 2002).

Os autores mediram os limiares e os tempos de reacção para a discriminação de movimento dos pontos. Assim, compararam as diferenças de desempenho do centro vs periferia, esquerda vs direita e superior vs inferior. Na comparação superior vs inferior, partiram da hipótese inicial de que a sensibilidade para o espaço visual inferior estaria aumentada nos indivíduos utilizadores de língua gestual, atendendo a resultados de estudos anteriores que consideravam que estes indivíduos, enquanto dialogavam em língua gestual, ao fixarem as caras dos indivíduos com quem dialogavam, ficavam com os gestos produzidos por estes no seu espaço visual inferior. Ou seja, Bosworth & Dobkins (2002) admitiram que a exposição prolongada a uma língua gestual pode melhorar a percepção do movimento do estímulo no espaço visual inferior, em indivíduos utilizadores de língua gestual, comparativamente com indivíduos não utilizadores desta língua.

Verificou-se neste estudo que os indivíduos surdos tiveram um desempenho melhor na periferia do que no centro, enquanto que ambos os grupos de ouvintes tiveram um desempenho melhor no centro do que na periferia (Bosworth & Dobkins, 2002).

Bosworth & Dobkins (2002) consideraram que as diferenças de resultados entre o grupo com surdez e ambos os grupos ouvintes poderia ser atribuída à privação auditiva, enquanto que as diferenças entre sujeitos cuja língua nativa é uma língua gestual, independentemente de serem surdos ou ouvintes, e sujeitos ouvintes sem conhecimentos de língua gestual, poderia dever-se aos efeitos da experiência com língua gestual.

Os resultados de Bosworth & Dobkins (2002) evidenciaram um desempenho notoriamente melhor no espaço visual periférico direito por parte dos indivíduos surdos e dos indivíduos ouvintes com domínio de língua gestual. Os indivíduos ouvintes sem conhecimentos de língua gestual não apresentavam este tipo de vantagem na periferia direita, o que levou os autores a concluir que este efeito se relacionava com a exposição à língua gestual. Deste modo, para Bosworth & Dobkins (2002) os processos de aquisição e de compreensão de língua gestual (em que o processamento de movimento está também envolvido), serão recrutados pelo hemisfério esquerdo, normalmente dominante para a linguagem, conduzindo a este desempenho à direita, devido à organização contra-lateral das projecções do sistema visual.

Os indivíduos com surdez apresentaram também um desempenho, ao nível do espaço visual inferior, significativamente melhor que o obtido por ambos os grupos de ouvintes, levando Bosworth & Dobkins (2002) a concluir que tal se deveria à privação auditiva e não à exposição a uma língua gestual, o que surpreendeu os autores, que consideravam inicialmente que tal se deveria à exposição a uma língua gestual. Deste modo, os autores admitiram que a língua gestual poderá ser apenas amplificadora deste efeito.

Bosworth & Dobkins (2002) procuraram ainda verificar se o recrutamento da atenção espacial diferia ao longo dos espaços visuais e se tais efeitos variavam entre grupos, comparando o desempenho com e sem as pistas espaciais referidas anteriormente. Nos indivíduos ouvintes verificaram resultados semelhantes entre as duas condições, o que sugere que os efeitos da atenção espacial são constantes nas diferentes localizações, pelo que as assimetrias entre localizações não foram moduladas por efeitos atencionais. Os autores concluíram que o melhor desempenho no espaço visual direito observado em todos os indivíduos que dominavam a língua gestual, e o melhor desempenho no espaço visual inferior por parte dos indivíduos surdos, tem uma natureza sensorial e não atencional. Ainda assim, tal como referido anteriormente, verificou-se no estudo de Bosworth & Dobkins (2002) uma vantagem global da periferia sobre o centro no grupo com surdez, que não se verificou em nenhum dos grupos ouvintes.

1.12. Efeitos da plasticidade compensatória em indivíduos surdos – nível neuronal

Os efeitos da plasticidade compensatória em indivíduos com surdez estão patentes ao nível comportamental, sendo consistente um melhor desempenho ao nível do espaço visual periférico por parte destes indivíduos, sob condições de atenção. Os efeitos compensatórios são também evidentes ao nível neuronal, sendo comprovados por dados electrofisiológicos, imagiológicos, bem como por experiências realizadas com animais.

1.12.1. Dados electrofisiológicos

Neville & Lawson (1987) estudaram 12 indivíduos com visão normal e surdez profunda congénita bilateral, sem problemas neurológicos e com pelo menos um dos progenitores também com surdez. A primeira e principal língua destes indivíduos era a Língua Gestual Americana – *American Sign Language* (ASL). Este grupo com surdez foi comparado com outro grupo, também de 12 indivíduos, com audição normal.

O estímulo utilizado por Neville & Lawson (1987) consistia em quadrados brancos apresentados a 18 graus do ângulo visual à esquerda e à direita de um ponto de fixação central, que correspondiam aos estímulos no espaço visual periférico. Os quadrados que surgiam por cima desse ponto de fixação eram os estímulos do espaço visual central. 80%

dos ensaios consistiam em apresentações simples de quadrados durante 33ms. Os restantes 20% consistiam na apresentação de um quadrado durante 33ms, na mesma posição dos referidos anteriormente, seguidos imediatamente pela iluminação de um de 8 quadrados adjacentes durante 33ms. O aparecimento do segundo quadrado produzia uma sensação ilusória de movimento na direcção desse quadrado, sensação essa que poderia ser de movimento horizontal, vertical ou oblíquo. Ao longo dos 6 blocos de ensaios, os sujeitos fixavam o ponto central, tendo sido instruídos para detectar a direcção do movimento dos estímulos alvo. Assim, mantinham um dedo no centro de uma caixa de 3x3 botões, pressionando um dos 8 botões exteriores para indicar a referida direcção do movimento dos alvos.

A partir deste protocolo experimental, Neville & Lawson (1987) analisaram os Potenciais Relacionados a Eventos (ERP) de indivíduos com surdez, comparando as diferenças, em condições de atenção, entre o espaço visual central e o periférico. Compararam também os resultados dos indivíduos com surdez com os de indivíduos ouvintes. Os ERP de ambos os grupos em estudo evidenciaram as mesmas alterações, em condições de atenção, para os estímulos localizados no centro, nomeadamente aumento das amplitudes do componente N1 (157ms) sobre as regiões occipitais de ambos os hemisférios. Já para os estímulos periféricos, também em condições de atenção, as amplitudes dos ERP de indivíduos surdos estavam significativamente aumentadas, comparativamente com as dos indivíduos ouvintes. Além disso, enquanto nos indivíduos ouvintes os principais efeitos da atenção aos estímulos periféricos ocorreram sobre a região parietal contralateral, nos indivíduos com surdez os efeitos ocorreram também sobre as regiões occipitais de ambos os hemisférios. Neville & Lawson (1987) verificaram ainda que as assimetrias laterais, tanto nos ERP como na parte comportamental, revelam um papel de maior relevo para o hemisfério direito, no caso dos indivíduos ouvintes, verificando-se esse papel de maior relevo para o hemisfério esquerdo no caso dos indivíduos com surdez. Para Neville & Lawson (1987), os resultados demonstraram que a privação auditiva desde o nascimento tem efeitos importantes no desenvolvimento do sistema visual periférico.

Para Bottari *et al* (2011), apesar de os ERP serem bastante adequados para responder à questão “quando” ocorrem as mudanças ao nível do processamento sensorial, a possibilidade de revelarem os efeitos da plasticidade compensatória no processamento visual precoce depende das exigências específicas da tarefa. Tendo em conta este pressuposto, os autores estudaram 10 indivíduos com surdez profunda bilateral, não corrigida, congénita no caso de 8 indivíduos e adquirida até aos 3 anos no caso dos outros dois. Todos os indivíduos com surdez tinham um bom domínio de língua gestual, sendo que 6 a tinham como língua materna, enquanto a língua materna dos restantes 4 era baseada na leitura de fala da língua italiana. Este grupo foi comparado com um grupo controlo, sem surdez, também composto por 10 indivíduos.

Na experiência de Bottari *et al* (2011), os participantes tinham de fixar uma cruz branca, localizada no centro do ecrã durante toda a sessão experimental. O alvo era um círculo aberto à esquerda ou à direita que podia surgir numa de oito localizações possíveis, localizações essas que eram quatro círculos localizados no espaço central e quatro no espaço periférico. Os alvos centrais estavam num ângulo de 3 graus do ângulo visual, enquanto que os periféricos estavam a 8 graus do ângulo visual.

Cada ensaio começava quando surgia um quadrado vermelho no centro do ecrã durante 500ms, como sinal de aviso. Este sinal tinha como objectivos: dar uma pista atencional aos participantes, analisar os ERP resultantes da fixação e replicar estudos anteriores que usaram o mesmo paradigma. Os intervalos inter-estímulos entre os estímulos de aviso e os estímulos alvo podiam ser curtos ou longos, de 500 e de 1800ms respectivamente. O estímulo visual surgia depois, aleatoriamente, em qualquer uma das oito localizações, tendo os participantes sido instruídos para pressionarem o mais rapidamente possível a barra de espaço do teclado de um computador (Bottari *et al*, 2011).

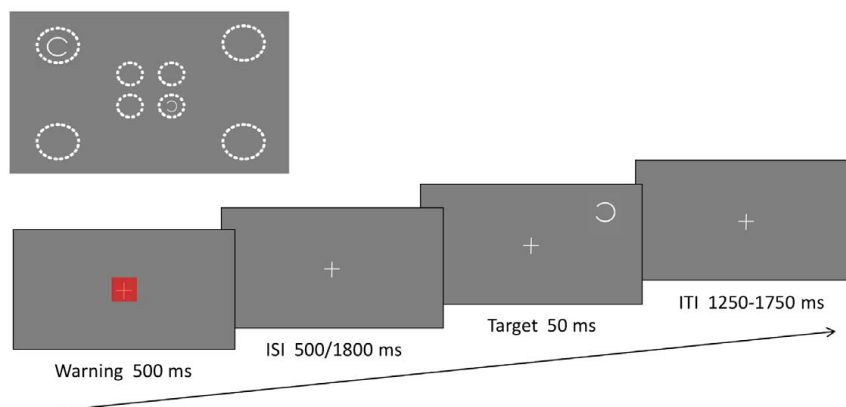


Figura 5: Protocolo utilizado por Bottari *et al* (2011). Na imagem superior é possível observar as oito localizações possíveis para o aparecimento do estímulo (Bottari *et al*, 2011).

Bottari *et al* (2011) seleccionaram uma janela temporal de 40-95ms para o componente C1, de 80-150ms para o componente P1 e de 150-220ms para o componente N1, tendo avaliado as latências e as amplitudes dos picos dos componentes referidos. Deste modo, analisaram a relação entre o tempo de resposta e os componentes dos ERP visuais, para realçar as possíveis correlações entre as mudanças comportamentais e as respostas cerebrais nos indivíduos com surdez.

Os autores usaram uma tarefa simples de detecção de velocidade para desafiarem a perspectiva comum sobre as mudanças visuais ao nível da surdez profunda, de que toda a plasticidade compensatória é resultante de modificações ao nível do processamento visual tardio. Encontraram evidências de que a modulação de respostas cerebrais nos indivíduos com surdez ocorre já em estádios de processamento visual mais precoces. Assim, os ERP divergiram entre os participantes com surdez e os ouvintes logo no

componente C1, o qual está associado à actividade do córtex estriado. Além disso, verificaram diferenças substanciais entre os dois grupos na latência do componente P1 (80-150ms) para ambos os estímulos, alvo e de aviso. Este componente apresentou-se prolongado nos indivíduos com surdez, comparativamente com os ouvintes. Este facto define a marca inicial de uma divergência no processamento visual entre os indivíduos com surdez e os normouvintes nos primeiros estádios corticais, antecipada em cerca de 100ms, comparativamente com resultados reportados anteriormente (Bottari *et al*, 2011).

Um aspecto a realçar é o facto de o componente de ERP que prediz as medidas comportamentais estar antecipado nos indivíduos com surdez (correspondendo a P1), comparativamente com os ouvintes (nos quais corresponde a N1), surgindo associado à antecipação das respostas comportamentais. Deste modo, a diferença entre as latências dos picos de P1 e de N1 é de cerca de 50ms, o que corresponde aproximadamente à diferença entre os tempos de reacção dos indivíduos com surdez e dos ouvintes (Bottari *et al*, 2011).

Para Bottari *et al* (2011), uma explicação plausível para as alterações visuais precoces observadas em adultos com surdez pode estar relacionada com a atenção selectiva. Assim, as mudanças comportamentais e neuronais no processamento visual de indivíduos com surdez profunda têm sido associadas a mudanças na atenção visual selectiva. Apesar de na presente tarefa de orientação da atenção para o alvo não ser uma etapa obrigatória antes da resposta (contrariamente às tarefas de discriminação visual), o aparecimento visual de um sinal de aviso e os alvos captam claramente a atenção exógena dos participantes. As mudanças na dinâmica de P1 nos indivíduos com surdez pode assim reflectir a captura de uma atenção exógena forte nos indivíduos com surdez, em comparação com os ouvintes. Tal facto seria compatível com o pressuposto de que a atenção exógena pode afectar o complexo P1 dos ERP e que, especificamente a segunda fase do componente P1 poderia ser modulada pela captação atencional.

Contudo, para Bottari *et al* (2011) as diferenças de latências observadas no componente C1 não podem ser explicadas pela hipótese atencional. Apesar das evidências de que a capacidade perceptiva e atencional pode modular o componente C1, todos os efeitos reportados foram expressos pelas mudanças na amplitude do componente C1. Tal como o componente C1 reflecte a actividade do córtex estriado, as diferenças de latências observadas podem reflectir uma mudança de plasticidade no córtex visual primário ou numa etapa visual ainda mais precoce.

Os resultados de Codina *et al* (2011) são um argumento a favor desta possibilidade. Neste estudo investigaram-se as eventuais mudanças neuronais ao nível da retina e do nervo óptico em 14 indivíduos com surdez profunda, comparando-os com 15 ouvintes, através de Tomografia de Coerência Óptica (que consiste num método de interferência luminosa para avaliação da micro-estrutura retiniana). Os indivíduos surdos evidenciaram

um anel neuro-retiniano (uma área do disco óptico que contém elementos neurais) aumentado comparativamente com os indivíduos ouvintes, sugerindo um maior número de células ganglionares retinianas. Os indivíduos com surdez evidenciaram também um campo visual superior ao dos ouvintes, demonstrando uma maior sensibilidade para o espaço visual periférico. Além disso, os indivíduos surdos evidenciaram um padrão significativamente diferente da distribuição de camadas de fibras neurais retinianas, quando comparados com os ouvintes. Assim, Codina *et al* (2011) demonstraram que a plasticidade compensatória que se verifica após uma surdez precoce pode não estar limitada apenas aos córtices sensoriais, atendendo a esta correlação entre as adaptações específicas retinianas e a sensibilidade visual periférica dos indivíduos com surdez.

Ainda relativamente ao estudo de Bottari *et al* (2011), neste verificou-se também uma reactividade visual aumentada, independentemente da excentricidade do estímulo, nos indivíduos com surdez comparativamente com os ouvintes, o que contrasta com a perspectiva geral de que as mudanças compensatórias do processamento visual nos indivíduos com surdez estão relacionadas apenas com os eventos que ocorrem na periferia. Assim, os resultados de Bottari *et al* (2011) indiciam que ocorrem alterações precoces no processamento visual para eventos tanto centrais como periféricos, no campo visual.

1.12.2. Privação auditiva precoce vs utilização de língua gestual

Em muitos dos estudos sobre plasticidade compensatória surgem, por vezes, algumas dúvidas acerca dos resultados obtidos, designadamente se estes se devem à privação auditiva precoce ou à utilização de uma língua gestual para a comunicação.

Fine, Finney, Boynton & Dobkins (2005) investigaram a plasticidade neural resultante da privação auditiva precoce e da utilização de *American Sign Language*, medindo as respostas a estímulos visuais em indivíduos surdos que dominavam a ASL, ouvintes que dominavam a ASL e ouvintes sem conhecimentos de ASL, com recurso a RMf. Assim, avaliaram a “hipertrofia compensatória” (mudanças nas respostas/dimensões das áreas corticais visuais) e a plasticidade compensatória (mudanças nas respostas do córtex auditivo ao estímulo visual). Os autores mediram o volume de várias áreas visuais primárias (V1, V2, V3, V4 e MT+) e a amplitude das respostas nestas áreas e no córtex auditivo, a um estímulo visual periférico, em movimento, ao qual poderia ser, ou não, dada atenção.

Fine *et al* (2005) não encontraram diferenças relevantes entre os sujeitos com surdez e os ouvintes, nem na dimensão nem nas respostas das áreas visuais primárias. Em contraste, dentro do córtex auditivo, o estímulo em movimento evocou respostas significativas nos indivíduos com surdez, mas não nos indivíduos ouvintes, numa região do córtex auditivo direito correspondente às áreas 41, 42 e 22 de Brodmann. Esta

selectividade hemisférica poderá ser devida a uma predisposição para o córtex auditivo direito processar o movimento – estudos anteriores reportam uma predisposição do hemisfério direito para o movimento auditivo em indivíduos ouvintes.

As respostas visuais no córtex auditivo de indivíduos com surdez foram mais fortes em condições de atenção, do que quando o estímulo era ignorado, sugerindo um processamento top-down. Os indivíduos ouvintes com domínio de ASL não evidenciaram respostas visuais no córtex auditivo, indicando que a plasticidade compensatória será consequência da privação e não da língua gestual. Os maiores efeitos da privação auditiva ocorrem no córtex auditivo, e não no córtex visual, sugerindo que a ausência de um input normal é necessária para ocorrer a reorganização cortical em grande escala (Fine *et al*, 2005).

1.12.3. Influência do grau de surdez na plasticidade compensatória

Para avaliar a influência do grau de surdez na plasticidade compensatória, Lambertz, Gizewski, Greiff & Forsting (2005) estudaram três grupos distintos. Um dos grupos apresentava uma audição normal, outro uma surdez total e o terceiro apresentava alguma audição, embora residual. Ambos os grupos com surdez estavam expostos à Língua Gestual Alemã.

O estudo de Lambertz *et al* (2005) foi realizado com recurso a RMf e a tarefa consistia na visualização de vídeos em língua gestual. Verificou-se em todos os indivíduos com surdez uma activação do córtex auditivo de ambos os hemisférios, nomeadamente das áreas 42 e 22 de Brodmann, as quais correspondem a áreas auditivas associativas secundárias. Por sua vez, a activação do córtex auditivo primário verificou-se apenas nos indivíduos com surdez total e não naqueles com audição residual, o que levou os autores a concluir que a reorganização do córtex auditivo apenas envolve as áreas do córtex auditivo primário em sujeitos com surdez total.

1.12.4. Evidências de plasticidade compensatória em modelos animais

De acordo com Meredith *et al* (2011), a área auditiva do sulco ectosilviano anterior (FAES) do gato é um componente de nível superior do córtex auditivo, cujos neurónios evidenciam sensibilidade para a localização sonora, com ligações extensas aos centros de orientação do tronco cerebral. A região contém também um subgrupo de neurónios auditivos, cuja actividade pode ser modulada pela presença de estimulação visual ou somatossensorial, bem como neurónios bimodais auditivo-visuais. Estas propriedades multissensoriais sugerem a existência de um substracto neural para a reorganização compensatória quando o input auditivo sofre danos ou se perde.

Sabendo que a desactivação unilateral da FAES, por arrefecimento reversível, se traduz num défice grave de localização sonora na área contralateral, Meredith *et al* (2011) procuraram determinar se os neurónios da FAES de gatos com surdez precoce poderiam reorganizar-se de forma compensatória e se a desactivação de uma área reorganizada resultaria em défices de localização mediados pela modalidade de substituição.

Os resultados de Meredith *et al* (2011) suportam a hipótese de que o papel comportamental de uma área reorganizada compensatoriamente, em consequência de uma surdez/cegueira congénita, está relacionado com o seu papel nos indivíduos com uma audição/visão normal. Assim, nos animais ouvintes, a área auditiva FAES está envolvida com a capacidade de localização auditiva, mas nos animais com uma surdez precoce a FAES está visualmente reorganizada, pelo que a sua desactivação resulta na perda da capacidade de localização visual. O facto de a área auditiva posterior, também conhecida pelo seu envolvimento nas capacidades de localização auditiva, ser necessária para uma melhoria nas capacidades de localização visual nos gatos com surdez congénita apoia esta hipótese (Meredith *et al*, 2011).

A modalidade de input está alterada na área auditiva FAES numa situação de surdez precoce. As propriedades receptoras e de resposta de uma FAES reestruturada visualmente assemelham-se às reportadas à sua região vizinha, a área visual ectosilviana. Assim, poder-se-ia sugerir que a área visual ectosilviana se expande simplesmente para preencher o território da FAES que sofreu uma privação auditiva. De facto, para Meredith *et al* (2011) é possível que os inputs que activam a área visual ectosilviana se espalhem pela FAES com surdez para inervá-la também. No entanto, os outputs destas diferentes áreas geram efeitos comportamentais diferentes. A desactivação da área visual ectosilviana nos animais ouvintes não produz qualquer efeito na capacidade de orientação, enquanto que o arrefecimento da FAES consegue fazê-lo tanto nos animais com surdez como nos ouvintes. Por estas diferenças nos efeitos comportamentais, Meredith *et al* (2011) consideram incorrecto encarar uma FAES de um indivíduo com surdez como uma área visual ectosilviana expandida. Consequentemente, porque o papel comportamental da FAES permanece igual, os seus outputs parecem ligar-se com as mesmas regiões nos indivíduos com surdez e nos ouvintes. Desta forma, a plasticidade compensatória pode substituir a perda de um input sensorial para uma região sem necessidade de reorganização das áreas de output.

Lomber *et al* (2011) desactivaram também por arrefecimento reversível partes individuais e conjuntas do córtex auditivo de gatos para determinar se alguma área cortical específica funciona como mediador das funções visuais melhoradas. Assim, avaliaram se quatro áreas específicas, nomeadamente a área auditiva posterior, a área dorsal do córtex auditivo, o córtex auditivo primário e a área auditiva anterior, desempenhavam algum papel específico como mediadores para as melhores funções visuais.

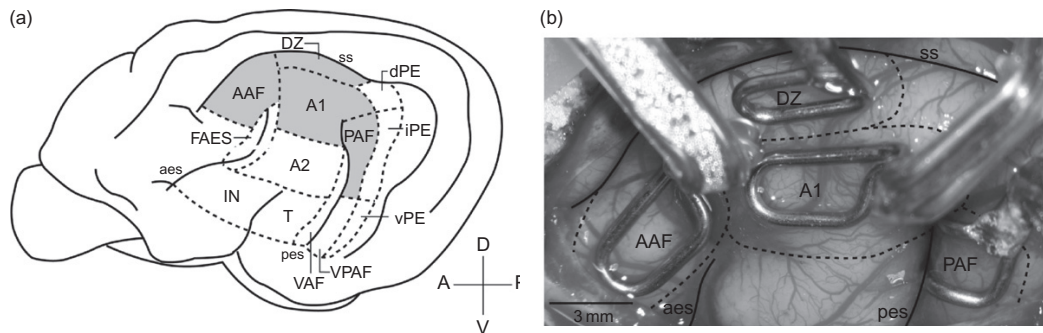


Figura 6: Áreas do córtex auditivo de gato com surdez. (a) representação do hemisfério esquerdo com todas as áreas auditivas assinaladas, estando a cinzento as analisadas por Lomber *et al* (2011) (AAF: área auditiva anterior, aes: sulco ectosilviano anterior, A1: córtex auditivo primário, A2: córtex auditivo secundário, dPE: área ectosilviana dorsal-posterior, DZ: zona dorsal do córtex auditivo, FAES: área auditiva do sulco ectosilviano anterior, IN: região insular, iPE: área ectosilviana posterior intermédia, PAF: área auditiva posterior, ss: sulco suprasilviano, VAF: área auditiva ventral, VPAF: área auditiva posterior ventral, vPE: área ectosilviana posterior ventral). (b) circuitos de arrefecimento em contacto com as áreas AAF, A1, DZ e PAF do córtex auditivo esquerdo de um gato com surdez (Lomber *et al*, 2011).

Na tarefa de localização visual, averiguaram inicialmente se o córtex auditivo poderia mediar o melhor desempenho visual dos gatos com surdez. Assim, Lomber *et al* (2011) desactivaram todas as quatro áreas, bilateralmente, o que resultou numa redução significativa do desempenho na localização visual, restringida às posições mais periféricas. Apesar de os animais terem falhado a localização precisa do estímulo nas situações de maior periferia, não ficaram com a visão incapacitada, pois todos os estímulos luminosos levaram ao desencadeamento de uma resposta. Deste modo, verificou-se um défice ao nível da localização visual mas não da detecção.

Para verificar se as melhores capacidades visuais podem estar mais localizadas numa área cortical específica, cada uma das quatro áreas auditivas foi individual e bilateralmente desactivada. Nos gatos com surdez a desactivação bilateral do córtex auditivo posterior reduziu significativamente a capacidade de localização para os estímulos mais periféricos, enquanto que o desempenho no centro permaneceu inalterado. A menor capacidade de localização visual ao nível dos pontos mais periféricos resultou num desempenho similar ao da desactivação das quatro áreas em simultâneo. Além disso, o desempenho dos gatos com surdez na localização durante o arrefecimento bilateral da área auditiva posterior não foi diferente do desempenho dos gatos ouvintes (Lomber *et al*, 2011).

Segundo Lomber *et al* (2011), nem a desactivação bilateral nem a unilateral, da área dorsal do córtex auditivo primário ou da área auditiva anterior, modificaram o desempenho na localização visual. A desactivação unilateral da área auditiva posterior resultou numa pior localização visual nas posições periféricas, no entanto, o défice

limitou-se ao hemisfério contra-lateral. Por conseguinte, as bases neurais para a melhor capacidade de localização visual dos gatos com surdez poderão estar na área auditiva posterior. É de realçar que, nos gatos ouvintes, a área auditiva posterior está normalmente envolvida na localização sonora precisa, pois a desactivação bilateral desta área nos gatos ouvintes resulta num défice profundo ao nível da localização acústica no campo frontal.

Assim, os resultados de Lomber *et al* (2011) demonstram que numa situação de surdez, a área auditiva posterior mantém um papel na localização, embora visual em vez de auditiva. Estes resultados demonstram que a plasticidade compensatória pode substituir uma modalidade sensorial por outra, mantendo-se o repertório funcional da área reorganizada.

Lomber *et al* (2011) desactivaram bilateralmente as quatro áreas em estudo para verificar se o córtex auditivo dos gatos sem surdez desempenha algum papel nas capacidades de detecção de movimento visual supranormais, identificadas nos gatos com surdez congénita. Esta desactivação piorou significativamente os limiares de discriminação de movimento, o que demonstra que o córtex auditivo tem um papel activo na mediação de um melhor desempenho na detecção de movimento dos gatos com surdez.

Nem a desactivação unilateral nem a bilateral, das áreas auditivas posterior e anterior, bem como do córtex auditivo primário, resultaram em qualquer mudança nos limiares de detecção de movimento. Estes resultados demonstram que a área dorsal do córtex auditivo é mediadora dos melhores limiares de detecção visual de movimento nos gatos com surdez. Deste modo, a área dorsal tem propriedades neuronais que a distinguem do córtex auditivo primário, e está envolvida na localização da fonte sonora (Lomber *et al*, 2011).

Tal como demonstraram que o córtex auditivo é o substrato neural para as melhores capacidades visuais dos gatos com surdez, Lomber *et al* (2011) demonstraram também que o córtex auditivo dos gatos sem surdez não contribui para a função visual. Assim, para o grupo de gatos sem surdez, desactivaram simultânea e individualmente as quatro áreas do córtex auditivo em cada uma das tarefas visuais analisadas. Concluíram que nem a desactivação simultânea, nem a individual, das quatro áreas alterou as capacidades deste grupo de gatos para desempenhar qualquer uma das tarefas.

Os resultados de Lomber *et al* (2011) demonstram que na presença de uma audição funcional, o córtex auditivo não contribui para qualquer uma das tarefas visuais em análise. Assim, os défices na função visual, identificados durante a desactivação bilateral da área auditiva posterior ou da área dorsal dos gatos com surdez, evidenciam o papel da plasticidade compensatória em cada uma destas áreas.

1.12.5. Mudanças ao nível das áreas sensoriais primárias

As áreas sensoriais primárias, que normalmente processariam a informação da modalidade ausente, têm a capacidade de processar informação das restantes modalidades. Por exemplo, quando as fibras aferentes retinianas são cirurgicamente forçadas a inervar a área somatossensorial primária (S1) ou a área auditiva primária (A1) em hamsters ou em furões, os neurónios de A1 ou de S1 respondem à luz e evidenciam algum grau de retinotopia, bem como direcção e orientação selectiva para estímulos visuais (Metin & Frost, 1989; Sur, Garraghty & Roe, 1988; Ptito, Giguère, Boire, Frost, Casanova, 2001). Deste modo, o córtex auditivo primário “reconectado” parece ser capaz de mediar comportamentos visuais (von Melchner, Pallas & Sur, 2000; Frost, Boire, Gingras & Ptito, 2000). Estes resultados demonstram que os inputs sensoriais têm um papel chave na especificação da arquitectura funcional das regiões cerebrais com as quais contactam. Estudos com ratos-toupeira que são naturalmente cegos, e gatos ou ratos que foram privados de visão, nos quais o córtex visual primário pode ser accionado por input auditivo, evidenciam que uma reorganização similar se pode verificar sem manipulação cirúrgica. Existem também resultados relativos ao córtex auditivo primário, que demonstram que este pode ser accionado por estímulos visuais em gatos com surdez congénita (Rebillard, Carlier, Rebillard & Pujol, 1977). A conectividade compensatória normalmente transitória entre os transdutores sensoriais e os transmissores talâmicos que existe nos animais mais jovens de pelo menos algumas espécies, poderia mediar tais efeitos (Bavelier & Neville, 2002).

Relativamente aos humanos, os estudos com magnetoencefalografia, ERP, Tomografia por Emissão de Positrões, RMf e TMS têm demonstrado que as áreas visuais posteriores são activadas durante o processamento somatossensorial em indivíduos cegos e que as áreas auditivas são activadas durante o processamento visual e somatossensorial em indivíduos surdos (Buchel, Price, Frackowiak & Friston, 1998; Veraart *et al*, 1990; Levänen, Jousmaki & Hari, 1998; Nishimura *et al*, 1999). Todos estes estudos reportam mudanças em áreas sensoriais secundárias, no entanto, alguns reportam também mudanças nas áreas primárias. Assim, tal como se verificou em animais, os córtices primários podem mediar, pelo menos em parte, as mudanças funcionais que se observam em indivíduos surdos ou cegos. Por exemplo, Cohen *et al* (1997) verificaram que a discriminação táctil em indivíduos cegos é reduzida quando a TMS é usada para perturbar o funcionamento do córtex visual, enquanto que o desempenho de indivíduos com visão normal permanece igual. Estes resultados indicam que a desactivação do córtex visual, em particular do córtex visual primário, dificulta o desempenho táctil nos cegos.

1.12.6. Mudanças nos princípios de organização funcional induzidas por plasticidade compensatória

Partindo do facto de não se saber ainda se a ocupação de uma área sensorial primária, por um input sensorial não tradicional dessa área, é semelhante à organização típica dessa localização cortical ou àquela que é típica da informação sensorial agora representada num novo local, Almeida *et al* (2013) procuraram verificar, através de RMf, se o princípio da organização inata do sistema visual – retinotopia – é herdado pelo córtex auditivo de indivíduos adultos com surdez congénita. Para tal, avaliaram 10 indivíduos com surdez congénita e 10 indivíduos normo-ouvintes, que visualizaram um tipo de estímulo normalmente usado para pôr em evidência as características retinotópicas do córtex visual primário.

Almeida *et al* (2013) procuraram compreender se o córtex auditivo de indivíduos com surdez contém informações sobre a localização do estímulo visual. Para tal, construíram “descodificadores retinotópicos de localização no espaço visual” para classificar a actividade neural no córtex auditivo e no córtex visual primário (a análise restringiu-se ao córtex visual primário, não abordando as restantes áreas visuais occipitais). O objectivo da classificação era descodificar a localização no espaço visual, onde o estímulo visual surgia (esquerda/direita/cima/baixo) e a sua excentricidade (centro/periferia). Os autores compararam a topografia observada no córtex visual primário e no córtex auditivo dos participantes surdos e ouvintes.

Os resultados de Almeida *et al* (2013) demonstraram que os classificadores testados com input dos participantes ouvintes não conseguiram descodificar fidedignamente, ao nível do córtex auditivo, a localização do estímulo visual, indicando que a actividade do córtex auditivo nos participantes ouvintes não contém informações sobre o local de apresentação do estímulo.

No entanto, a classificação feita pelo córtex auditivo dos indivíduos com surdez foi significativamente acima do acaso. Este resultado parece dever-se à precisão da classificação do quadrante do estímulo visual na localização horizontal/azimute, que foi superior à precisão da classificação na localização vertical/meridiano. Este resultado levou os autores a concluir que o córtex auditivo dos indivíduos com surdez congénita apresenta representações mais precisas para estímulos na periferia horizontal do que na periferia vertical (Almeida *et al*, 2013).

Numa segunda experiência, Almeida *et al* (2013) procuraram compreender, também através de RMf, a organização funcional do córtex auditivo de um indivíduo com surdez selecionado do grupo em estudo, bem como de um indivíduo sem surdez. Os autores consideraram que se encontrassem algum tipo de mapa do espaço visual no córtex auditivo de um participante surdo seleccionado, mas não no córtex auditivo de um

participante ouvinte, tal seria uma demonstração de neuroplasticidade herdada de uma organização similar à retinotópica.

Verificou-se um mapeamento do espaço visual no córtex visual primário de ambos os participantes, com a estimulação do espaço visual inferior a induzir respostas na parte dorsal do córtex visual primário e, a estimulação do espaço visual superior a induzir respostas na parte ventral do córtex visual primário (Almeida *et al*, 2013).

O córtex auditivo do participante ouvinte não evidenciou um mapa do espaço visual, nem respostas ao estímulo visual, enquanto que o córtex auditivo do indivíduo com surdez congénita evidenciou respostas em ambos os hemisférios. As respostas de excentricidade ao nível do córtex auditivo foram obtidas apenas no indivíduo com surdez congénita (bilateralmente, apesar de mais fortes no córtex auditivo direito), evidenciando uma tendência forte para os estímulos periféricos. Este resultado está de acordo com os resultados comportamentais e imagiológicos anteriores, designadamente no processamento de estímulos visuais no espaço periférico (Almeida *et al*, 2013). Além disso, tal como no córtex visual primário, as localizações foram representadas da mesma forma ordenada pelo córtex auditivo do indivíduo com surdez, com a contiguidade no espaço visual representada de uma forma semelhante. Também neste caso, os mapas visuais são mais evidentes ao nível do eixo azimuth (Almeida *et al*, 2013).

Os resultados de Almeida *et al* (2013) demonstram que o córtex auditivo de indivíduos com surdez congénita contém informações sobre a localização do estímulo no espaço visual, o que não se verifica no córtex auditivo de indivíduos ouvintes. Consequentemente, a ausência congénita de input auditivo para o córtex auditivo origina um remapeamento da informação visual. Além do remapeamento de um novo input sensorial, os princípios rudimentares da organização normalmente observada no córtex visual estão presentes também no córtex auditivo. Assim, nos indivíduos com surdez congénita a informação visual não é só redireccionada para o córtex auditivo, como este adopta também uma organização característica de um sistema visual primário.

1.13. Influência da etiologia complexa da surdez no estudo dos efeitos da plasticidade compensatória em indivíduos surdos

Segundo Bavelier, Dye & Hauser (2006), existem muitas evidências na literatura acerca de desempenhos em determinadas tarefas, realizadas por indivíduos surdos, que são iguais ou piores que os desempenhos de indivíduos ouvintes. Paralelamente, verificam-se também relatos de melhores desempenhos ao nível de algumas capacidades perceptivas e cognitivas em indivíduos com surdez congénita, comparativamente com os ouvintes.

Assim, para Bavelier *et al* (2006) as discrepâncias na literatura podem ser, em grande parte, explicadas pelo facto de muitos estudos incluírem indivíduos com surdez que apresentam antecedentes bastante heterogéneos, enquanto que os estudos que apresentam funções melhoradas se focam exclusivamente num subgrupo da população surda, constituída por indivíduos muitas vezes designados por surdos nativos. Estes indivíduos surdos e filhos de pais também surdos, apresentam por norma surdez profunda, e não têm danos associados ao nível do sistema nervoso central. Além disso, atingem as suas metas de desenvolvimento da linguagem ao mesmo tempo e velocidade que os indivíduos ouvintes, pelo facto de terem nascido numa comunidade que tem uma língua gestual como língua principal.

O estudo desta população, que representa apenas cerca de 5% do total da população surda, permite que o efeito da privação auditiva seja avaliado com o mínimo de influência de outros factores, tais como a privação de linguagem, problemas de desenvolvimento cognitivo que possam ser devidos a perturbações de comunicação, ou co-morbilidade associada à surdez (Bavelier *et al*, 2006).

1.14. O presente estudo

O presente estudo partiu dos resultados e conclusões dos estudos anteriormente descritos, em particular dos de Proksch & Bavelier (2002), Bosworth & Dobkins (2002) e de Almeida *et al* (2013), dos quais se destacam como principais conclusões o facto de o grupo com surdez apresentar uma vantagem no espaço visual periférico relativamente ao centro, bem como o facto de no grupo com surdez se verificar um melhor desempenho no eixo horizontal/azimute, comparativamente com o centro e com o eixo vertical/meridiano. Estes estudos permitiram concluir que os resultados referidos são devidos à privação auditiva e não à exposição a uma língua gestual. Além disso, a natureza destes resultados não é atencional, mas sim sensorial.

Assim, aplicou-se uma tarefa comportamental de processamento de estímulos visuais no espaço central e periférico, tarefa essa que se baseava na detecção da coerência de movimento do estímulo, comparando-se o desempenho na tarefa entre as várias localizações em estudo, nomeadamente centro, eixo horizontal/azimute e eixo vertical/meridiano. Numa análise secundária foram também avaliados os desempenhos em cada um dos componentes dos eixos horizontal e vertical, designadamente esquerda, direita, superior e inferior.

Relativamente às hipóteses a testar, pretendeu-se verificar se existe uma vantagem a favor do espaço visual periférico, relativamente ao central, no grupo com surdez e se, no grupo sem surdez, não se verificam diferenças entre os desempenhos no centro e na periferia visual.

Pretendeu-se verificar também se o desempenho no eixo horizontal/azimute é superior ao desempenho no eixo vertical/meridiano, no grupo com surdez, e se existem diferenças entre os desempenhos na periferia direita e na periferia esquerda, bem como entre a superior e a inferior, em cada um dos grupos.

Por fim, pretendeu-se verificar ainda se as variáveis audiológicas, como o grau de surdez, percentagem máxima de inteligibilidade e idade de início da utilização de aparelhos auditivos influenciam o desempenho neste tipo de tarefas visuais.

2. METODOLOGIA

2.1 Participantes

Fizeram parte deste estudo vinte e oito indivíduos adultos com visão normal, ou normal com correcção, divididos em dois grupos de catorze indivíduos. Cada um dos grupos é composto por onze homens e três mulheres, sendo um formado por indivíduos com surdez congénita de grau severo a profundo e o outro por indivíduos com audição normal. Foi feito o emparelhamento entre os dois grupos relativamente às variáveis sexo, idade e habilitações académicas (tabelas 1 e 2).

Foram excluídos deste estudo outros catorze indivíduos pelo facto de não terem conseguido pelo menos um desempenho acima do acaso na tarefa principal e na tarefa distractora (respectivamente de 60% e de 54% de respostas correctas).

Todos os indivíduos em estudo participaram de forma livre e informada, tendo-se obtido o seu consentimento formal. No final da experiência, foi dado a cada um dos participantes um esclarecimento pós-experimental escrito, o qual explicava sucintamente os motivos e os objectivos para a realização da experiência.

Tabela 1: Informação demográfica dos participantes – idade

	Surdos (N=14) Média(D.P)	Ouvintes (N=14) Média(D.P)	<i>F</i>	<i>p</i>
Idade	28,21(5,466)	29,21(7,547)	<i>F</i> (1,26) = 0,161	0,691

Nota: D.P = desvio padrão.

Tabela 2: Informação demográfica dos participantes – habilitações académicas

	Surdos (N=14)	Ouvintes (N=14)	<i>F</i>	<i>p</i>
Habilitações	A12 = 7 Lic = 4 PG = 3	A12 = 6 Lic = 5 PG = 3	<i>F</i> (1,26) = 0,054	0,818

Nota: A12 = até ao 12º ano. Lic = licenciatura. PG = pós-graduação.

Quanto à etiologia da surdez do grupo em estudo, treze indivíduos apresentavam surdez congénita e um apresentava surdez adquirida. No entanto, este último foi considerado no estudo atendendo ao facto de a surdez ter surgido aos 3 anos de idade, como sequela de meningite. Relativamente aos indivíduos com surdez congénita, dois apresentavam surdez devido a rubéola congénita, um como sequela de embolia cerebral à nascença, outro por hipóxia perinatal e um indivíduo apresentava surdez genética. Oito indivíduos (57%) afirmaram desconhecer a causa da sua surdez. Apenas o participante com surdez genética confirmada era filho de pais surdos, sendo todos os restantes filhos de pais ouvintes.

Considerando o melhor ouvido de cada indivíduo, quatro indivíduos apresentavam surdez severa de grau I, quatro indivíduos apresentavam surdez severa de grau II, três indivíduos apresentavam surdez profunda de grau I, dois indivíduos apresentavam surdez profunda de grau II e um indivíduo apresentava surdez profunda de grau III. Dos catorze indivíduos em estudo, cinco apresentavam uma inteligibilidade verbal máxima (reconhecimento de dissílabos sem leitura labial), com aparelhos auditivos, igual ou inferior a 30%, enquanto que a inteligibilidade dos restantes nove indivíduos era igual ou superior a 70%. Todos os indivíduos incluídos no estudo utilizavam aparelhos auditivos, embora o ganho funcional obtido com os mesmos fosse variável de indivíduo para indivíduo.

Apenas sete dos catorze indivíduos do grupo com surdez tinham conhecimentos de Língua Gestual Portuguesa (LGP). No entanto, destes sete indivíduos, apenas um a utilizava como língua principal, e um outro indivíduo era bilingue, utilizando as duas vertentes do português, oral e gestual. Os restantes doze participantes utilizavam a vertente oral do português como língua principal.

O grau de surdez, em termos quantitativos, a percentagem máxima de inteligibilidade verbal com aparelhos auditivos, a idade de início da utilização de aparelhos e os conhecimentos de LGP estão patentes na tabela 3.

Tabela 3: Caracterização audiológica do grupo com surdez

Grau de surdez (dB)				Inteligib. verbal máxima (%)				Idade 1ª utilização ap. (anos)				LGP
N=14	Média (D.P)	Mín.	Máx.	N=14	Média (D.P)	Mín.	Máx.	N=14	Média (D.P)	Mín.	Máx.	
98				30				2				Sim
114				0				2				Sim
93				0				2				Sim
106				30				4				Sim
76				100				5				Não
104				0				2				Não
80	88,71	73	114	100	60	0	100	4	2,79	1	5	Não
81	(12,88)			90	(39,42)			3	(1,25)			Sim
90				90				2				Não
84				70				2				Sim
79				100				5				Não
73				80				2				Sim
90				70				1				Não
74				80				3				Não

2.2. Materiais e Procedimento

Os estímulos visuais utilizados consistiam num conjunto total de 500 pontos brancos por ensaio, em que cada ponto tinha um tempo de vida curto, de cerca de 118ms. Os pontos movimentavam-se estocasticamente, formando o seu conjunto uma nuvem circular, numa das cinco localizações referidas, sempre com um fundo preto. Uma determinada percentagem dos pontos não se movimentava aleatoriamente, mas sim para uma determinada direcção (esquerda ou direita), com um determinado nível de coerência de movimento que podia ser fraco ou forte, especificamente de 10%, 15%, 25%, 40%, 60% ou de 80%.

O objectivo da tarefa em estudo era avaliar a capacidade de processamento visual, em várias localizações, pelos participantes dos dois grupos em estudo. Assim, o estímulo surgia numa de cinco localizações possíveis do espaço visual, designadamente, centro, periferia horizontal/azimute (podendo aparecer à esquerda ou à direita) e periferia vertical/meridiano (em que podia aparecer no plano superior ou no plano inferior). No total a experiência tinha 576 ensaios, sendo que 192 eram referentes ao centro, 192 à periferia horizontal e os restantes 192 à periferia vertical. O ângulo de excentricidade das localizações esquerda, direita, superior e inferior era de 8 graus a partir de um ponto central, que os participantes foram instruídos para fixar ao longo de toda a tarefa.

Como se pretendia que a tarefa em estudo fosse uma tarefa atencional, associada à tarefa principal existia uma tarefa distractora. O estímulo desta consistia num grupo de quatro imagens de animais por ensaio, que surgiam em apresentação visual rápida e em

série, durante 100ms cada e sempre no centro do ecrã. As imagens possíveis eram as dos seguintes animais: urso, abelha, besouro, pássaro, borboleta, lagarta, gato, galinha, vaca, caranguejo, veado, pato, águia, mosca, sapo, peixe, gorila, hipopótamo, cavalo, lagosta, macaco, rato, coelho, escorpião, ovelha, doninha, caracol, aranha, esquilo e tartaruga.

Os participantes foram testados numa sala escurecida e sem luz natural, sentados com os olhos a uma distância de 50cm do centro do ecrã. O monitor estava à frente e centrado com os olhos dos participantes, os quais foram instruídos para fixar o olhar sempre no centro do ecrã, tendo como referência um ponto luminoso vermelho aí localizado. A explicação da tarefa foi dada em Língua Portuguesa e, complementada em Língua Gestual Portuguesa aos participantes que o solicitaram.

Cada ensaio começava com o aparecimento das quatro imagens no centro do ecrã, que o participante tinha de tentar memorizar. Imediatamente a seguir às imagens surgia, numa localização aleatória, a nuvem de pontos. Atendendo a que esta podia surgir numa posição central ou periférica, era solicitado aos participantes que olhassem sempre para o centro do ecrã e que não desviassem o olhar para a periferia. Ao surgir no ecrã a questão “Direcção do movimento?”, os participantes tinham de optar pela seta esquerda ou pela seta direita do teclado, em função de considerarem se existia uma maior coerência de movimento de pontos para a esquerda, ou para a direita. A percentagem de coerência de movimento era aleatória de ensaio para ensaio. Os participantes foram informados de que os tempos de resposta não seriam avaliados nem contabilizados, no entanto foram instruídos para tentarem ser rápidos a executar a tarefa.

Ao responderem, surgiam automaticamente duas imagens (uma do lado esquerdo e outra do lado direito do ecrã). Os participantes tinham de seleccionar, novamente com as setas direita ou esquerda, qual das imagens é que tinha aparecido anteriormente. Cada ensaio tinha uma duração de cerca de 1000ms.

Os 576 ensaios da experiência foram precedidos por uma série de 36 ensaios de treino, em tudo iguais aos da experiência em si mesma, embora com uma diferença. Assim, depois de o participante seleccionar a tecla direita ou esquerda, em função da direcção do movimento, surgia a mensagem “resposta correcta” ou “resposta incorrecta” como forma de o participante ter uma percepção do seu desempenho na tarefa.

Depois de corridos metade dos ensaios aparecia no ecrã a mensagem “Pausa”, sendo dada aos participantes a possibilidade de fazerem um intervalo de cerca de 2 a 3 minutos. Apesar de os participantes não terem de cumprir um tempo de resposta por ensaio, cada participante demorou cerca de 60 minutos a executar a tarefa.

A tarefa foi corrida num computador Clausus N-Livre, associado a um monitor de 17 polegadas Samsung SyncMaster 793DF com uma resolução de 1024x768 a 85Hz.

2.3. Análise de dados

A análise dos dados obtidos baseou-se na percentagem de respostas correctas para cada nível de coerência e para cada condição. Assim, determinou-se o nível de coerência de movimento que cada indivíduo necessitava para ter um desempenho de 75%, de 85% e de 90% na determinação correcta da direcção de movimento. Os níveis de coerência de movimento (limiares de coerência) referidos foram determinados com recurso a uma função Probit para o ajustamento dos dados. Foi feito um ajustamento psicométrico para cada um dos participantes de forma individual e para cada uma das localizações. Na análise principal foram consideradas as localizações centro, azimuth e meridiano e, na análise secundária as localizações periféricas foram ainda subdivididas nas suas componentes esquerda, direita, superior e inferior. O ajustamento da curva psicométrica foi feito através do programa KaleidraGraph 4.0 (Synergy Software).

A opção pelo limiar de 75% na determinação correcta da direcção de movimento deveu-se ao facto de ser um valor situado entre o nível de acaso (50%) e o nível máximo de desempenho (100%). O limiar de 90% foi escolhido por se situar perto do nível de máximo de desempenho e o limiar de 85% por ser um valor intermédio entre 75% e 90%. Precisamente por ser um valor intermédio, na análise de resultados destacou-se o nível de coerência de movimento necessário para um desempenho de 85%, em detrimento dos limiares de 75% e de 90%, que serão discutidos de forma menos aprofundada.

Utilizaram-se contrastes planeados para as análises específicas das diferenças de desempenho entre cada uma das localizações, para cada um dos grupos, designadamente nas comparações de centro vs azimuth, centro vs meridiano e azimuth vs meridiano. A escolha deste tipo de análise deveu-se ao facto de existirem dados teóricos de estudos prévios que permitem que neste seja possível utilizar este tipo de análise para testar as hipóteses (Rosenthal, Rosnow & Rubin, 2000; Garcia-Marques, 1997).

De forma a compreender se os resultados obtidos ao nível dos eixos azimuth e de meridiano se devem a desempenhos particulares de um dos componentes de cada um destes eixos, optou-se por fazer também uma análise secundária para a comparação das localizações esquerda vs direita e superior vs inferior.

Para avaliar a influência de variáveis audiológicas como o grau de surdez, a percentagem máxima de inteligibilidade com aparelhos auditivos e, a idade de início da utilização de aparelhos, no desempenho da tarefa, recorreu-se a uma regressão múltipla.

Ao nível dos resultados, considerou-se como critério de significância estatística um valor de p igual ou inferior a 0,05. São apresentadas as médias e o erro padrão das médias de todas as variáveis. A análise estatística dos resultados foi feita com a versão 20 do programa SPSS Statistics (IBM) para Mac.

3. ANÁLISE DE RESULTADOS

3.1. Análise principal

3.1.1. Desempenho centro/azimute/meridiano

3.1.1.1. Análise do ajustamento das curvas psicométricas

A figura 7 apresenta o desempenho do grupo com surdez nas localizações centro, azimute e meridiano, e também uma curva ajustada que tenta explicar o desempenho deste grupo. Verifica-se um bom ajustamento das curvas aos dados com um R (percentagem de variância explicada pelo ajustamento) de 96,7% para o centro, de 96,36% para azimute e de 96,17% para meridiano, e um valor de *chi-quadrado* de 0,0054 para centro, de 0,0071 para azimute e de 0,0078 para meridiano. Relativamente à análise individual por participante, verificou-se na generalidade dos casos um bom ajustamento. No entanto, foram excluídas tanto da presente análise, como das seguintes, todas as curvas cuja percentagem de R foi inferior a 65%.

Pela simples observação do gráfico, é evidente que este grupo necessita de uma menor percentagem de coerência de movimento no eixo meridiano relativamente ao eixo central para atingir um determinado desempenho, necessitando de uma percentagem ainda menor, no eixo azimute, comparativamente com o meridiano e com o centro.

A figura 8 é referente à percentagem de desempenho correcto em função do nível de coerência de movimento para os participantes ouvintes, nas localizações centro, azimute e meridiano. Tal como no grupo com surdez, verifica-se um bom ajustamento das curvas aos dados, com um R de 97,82% para o centro, de 96,29% para azimute e de 96,25% para meridiano, e um valor de *chi-quadrado* de 0,0045 para centro, de 0,004 para azimute e de 0,0048 para meridiano. À semelhança do grupo com surdez, a generalidade das curvas referentes aos participantes ouvintes evidenciou um bom ajustamento. Tal como já foi mencionado, foram excluídas todas as curvas cuja percentagem de R foi inferior a 65%.

Pela observação do gráfico, verifica-se que este grupo parece apresentar um melhor desempenho na localização centro, em comparação com as localizações azimute e meridiano.

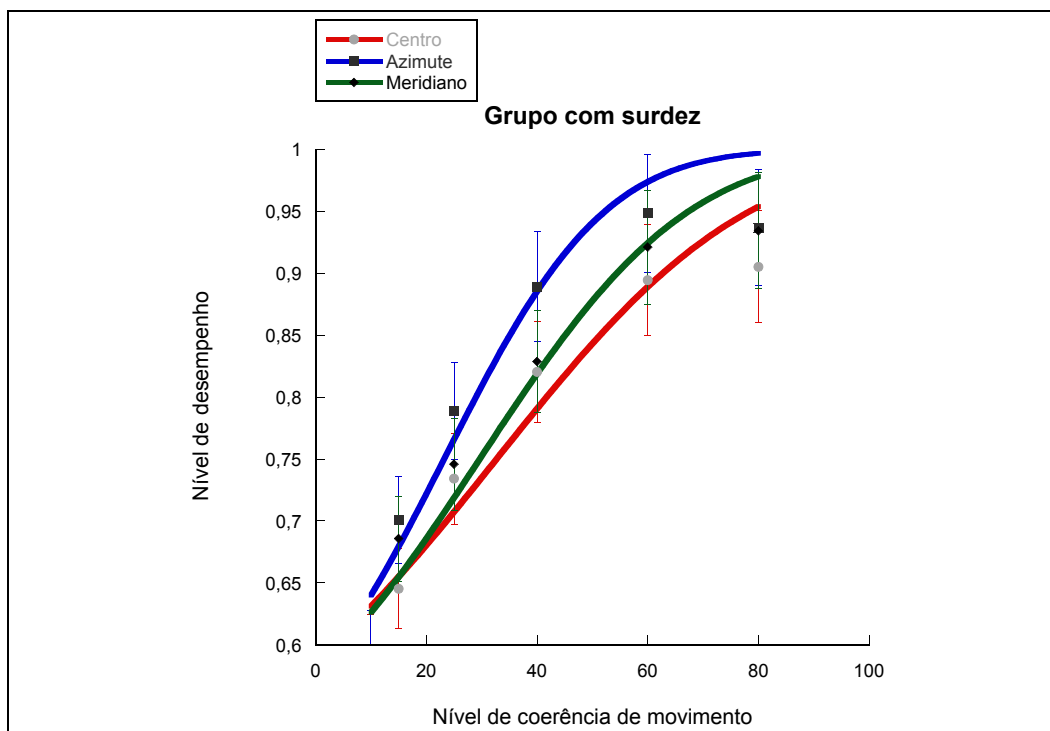


Figura 7: nível de coerência de movimento (%) necessário para um determinado desempenho por parte do grupo com surdez. A curva vermelha corresponde ao espaço visual central e as curvas verde e azul ao espaço periférico, em que a verde diz respeito ao eixo meridiano e a azul ao eixo azimute.

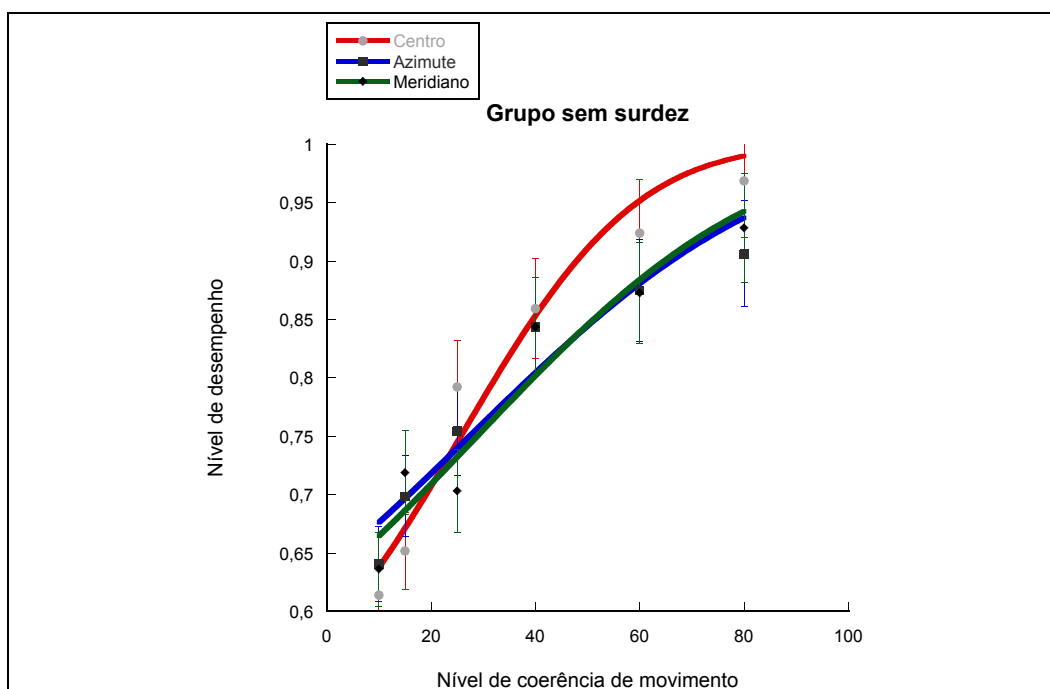


Figura 8: percentagem de desempenho em função da percentagem do nível de coerência de movimento no grupo de participantes sem surdez. A curva vermelha corresponde ao espaço visual central, a curva verde ao eixo meridiano e a azul ao eixo azimute.

3.1.1.2. Análise dos limiares de coerência de movimento

Recorrendo às curvas psicométricas obtidas para cada indivíduo, calcularam-se os limiares precisos de coerência de movimento que os participantes com surdez necessitaram para atingir um desempenho de 85% em cada uma das localizações em estudo. Para atingir este nível de desempenho, a análise dos contrastes planejados demonstrou que os participantes com surdez necessitaram de uma menor percentagem de coerência de movimento no eixo azimute, designadamente de 30,4%, comparativamente com o centro, em que precisaram de 38,6%, sendo as diferenças estatisticamente significativas ($t(11) = 2,454$; média de erro padrão (MEP) = 3,074; $p = 0,032$). As diferenças são também estatisticamente significativas na comparação entre a percentagem de coerência de movimento necessária no eixo azimute e a do eixo meridiano, que é de 44,3% ($t(12) = 2,176$; MEP = 5,526; $p = 0,050$).

Ainda no grupo com surdez, na comparação da localização centro com meridiano verifica-se que $t(11) < 1$, pelo que não se verificam diferenças estatisticamente significativas. Os resultados da coerência de movimento necessária para os desempenhos de 75% e de 90% estão em linha com os obtidos para a percentagem de 85% ⁽¹⁾.

Relativamente ao grupo sem surdez, os limiares de coerência de movimento necessários para um desempenho de 85%, obtidos a partir das curvas psicométricas, revelam que estes necessitam de uma coerência de movimento de 38,2% no centro, 36,1% no eixo azimute e 39,3% no eixo meridiano para conseguirem um desempenho de 85%. A análise dos contrastes planejados revelou que os resultados não são estatisticamente significativos ($t < 1$), pelo que não existem diferenças entre as três localizações em estudo, verificando-se o mesmo para os limiares de coerência de movimento necessários para os desempenhos de 75% e de 90%.

Face aos resultados da análise dos pares de contraste obtidos para o grupo com surdez e para o grupo sem surdez, verifica-se então uma diferença de desempenho entre os grupos. Enquanto no grupo com surdez é evidente um melhor desempenho e, consequentemente uma vantagem ao nível do eixo azimute, comparativamente com as outras duas localizações, no grupo ouvinte não se verificam quaisquer diferenças significativas entre as localizações em estudo.

⁽¹⁾ Para um desempenho de 75%, verificou-se na comparação entre centro e azimute que os participantes com surdez necessitaram de uma menor percentagem de coerência de movimento na localização azimute do que no centro, respectivamente de 21,16% e de 28,6%, sendo a diferença estatisticamente significativa ($t(11) = 2,982$; MEP = 2,254; $p = 0,012$). Verificou-se uma diferença marginalmente significativa na comparação entre a coerência necessária no eixo azimute e a do meridiano ($t(12) = -2,084$; MEP = 4,519; $p = 0,059$).

Relativamente ao limiar de 90%, a comparação entre centro e azimute revelou que os participantes surdos também necessitaram de uma menor coerência no eixo azimute (35,8%) relativamente ao centro (44,8%), sendo a diferença marginalmente significativa ($t(11) = 2,11$; MEP = 3,811; $p = 0,059$). A diferença entre o eixo azimute e o meridiano foi também marginalmente significativa ($t(12) = -2,136$; MEP = 6,351; $p = 0,054$).

3.2. Análise secundária

3.2.1. Desempenho esquerda/direita

3.2.1.1. Análise do ajustamento das curvas psicométricas

A figura 9 apresenta o desempenho do grupo com surdez nos componentes direito e esquerdo do eixo azimuth, bem como uma curva ajustada que tenta explicar o desempenho do grupo. Verifica-se um bom ajustamento das curvas aos dados, com um R de 94,99% para a localização esquerda e de 96,17% para a direita, e um valor de *chi-quadrado* de 0,0091 para esquerda e de 0,0081 para direita.

Relativamente ao desempenho do grupo sem surdez nas localizações esquerda e direita, verificou-se um ajustamento adequado das curvas aos dados, sendo o R para a localização esquerda de 96,82%, e de 95,2% para a direita, e o valor de *chi-quadrado* de 0,003 para a esquerda e de 0,0059 para a direita. A figura 10 é referente ao desempenho do grupo sem surdez nas localizações esquerda e direita. A figura apresenta uma curva ajustada que tenta explicar o desempenho do grupo.

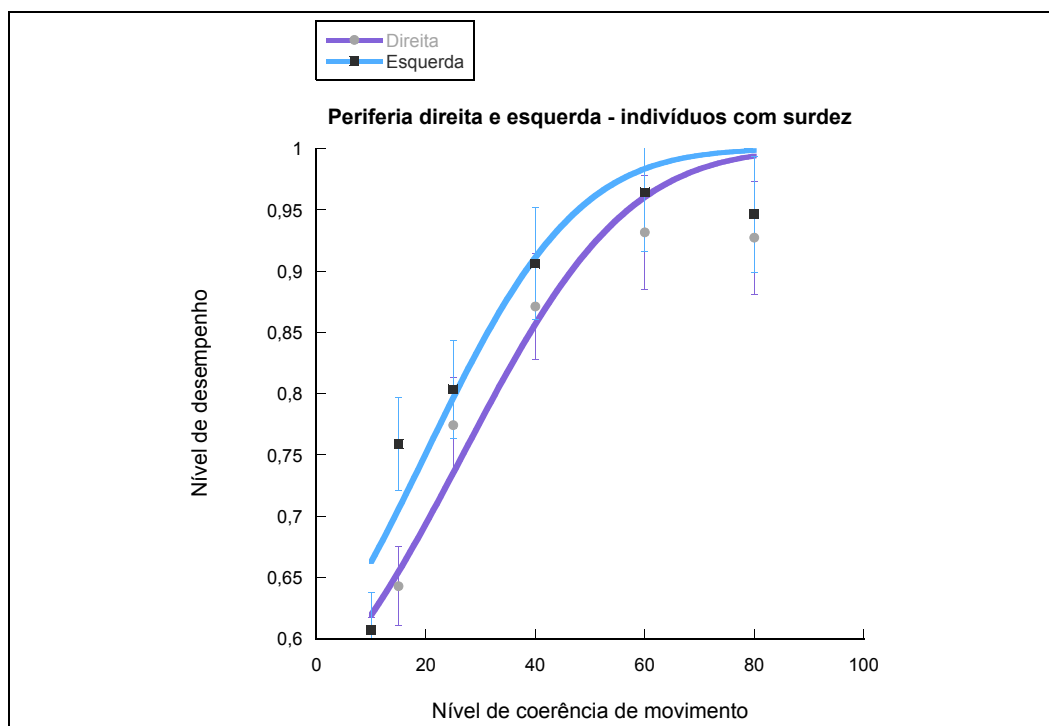


Figura 9: percentagem de desempenho correcto em função da coerência de movimento no grupo com surdez. A curva azul corresponde ao desempenho à esquerda e a curva roxa ao desempenho à direita.

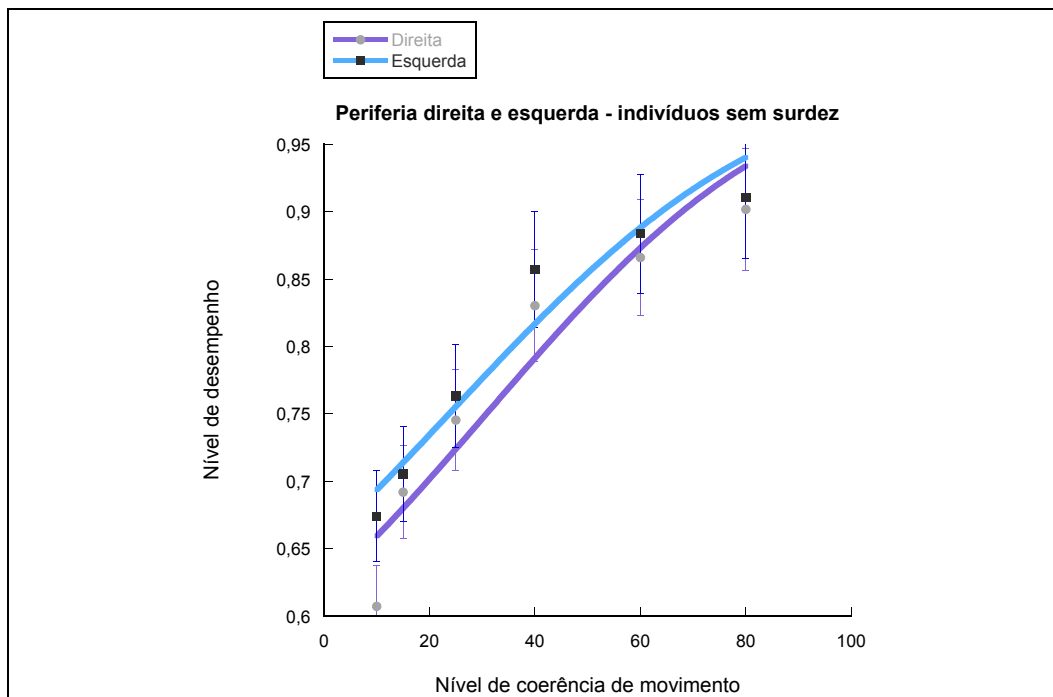


Figura 10: desempenho correcto em função da coerência de movimento no grupo ouvinte. A curva azul corresponde ao desempenho à esquerda e a curva roxa ao desempenho à direita.

3.2.1.2. Análise dos limiares de coerência de movimento

Para um desempenho de 85%, os níveis de coerência de movimento necessários, obtidos a partir das curvas psicométricas revelam que os participantes surdos requerem uma coerência de movimento de 28,8% na localização esquerda e de 32,4% na direita para conseguirem um desempenho de 85%. A análise dos contrastes planeados revelou, no entanto, que esta diferença não é estatisticamente significativa ($t < 1$ nos desempenhos de 85% e de 90%; para 75%, $t(12) = 1,063$; MEP = 3,396; $p = 0,309$).

As curvas psicométricas obtidas para o grupo sem surdez indicam que a coerência de movimento necessária para um desempenho de 85% é, neste grupo, de 31,08% na localização esquerda e de 36,1% na direita. A análise dos contrastes planeados revelou que, também neste grupo, a diferença não é estatisticamente significativa ($t < 1$).

Atendendo aos resultados obtidos pelo grupo com surdez e pelo grupo sem surdez, ao nível dos componentes direito e esquerdo do eixo azimute, é possível afirmar que não existem diferenças de desempenho entre os dois grupos a este nível, pois nenhum dos grupos apresentou diferenças no desempenho entre qualquer uma das localizações em estudo.

3.2.2. Desempenho superior/inferior

3.2.2.1. Análise do ajustamento das curvas psicométricas

Relativamente ao desempenho do grupo com surdez nas localizações superior e inferior, verifica-se respectivamente um R de 96,93% e de 94,01%, sendo o valor de *chi-quadrado* de 0,008 para a localização superior, e de 0,0091 para a inferior. Assim, verifica-se um bom ajustamento das curvas aos dados. De acordo com a figura 11, o grupo com surdez apresenta um melhor desempenho na localização inferior, em comparação com a localização superior.

No que concerne ao desempenho dos participantes sem surdez nas localizações superior e inferior, verifica-se um R de 94% para a localização superior e de 96,5% para a localização inferior. O valor de *chi-quadrado* é de 0,0077 para a localização superior e de 0,0049 para a inferior, pelo que existe um bom ajustamento das curvas aos dados. Segundo a figura 12, este grupo apresenta um melhor desempenho na localização inferior, em comparação com a localização superior, sendo as diferenças mais notórias quando comparadas com as do gráfico do grupo com surdez, nas mesmas localizações.

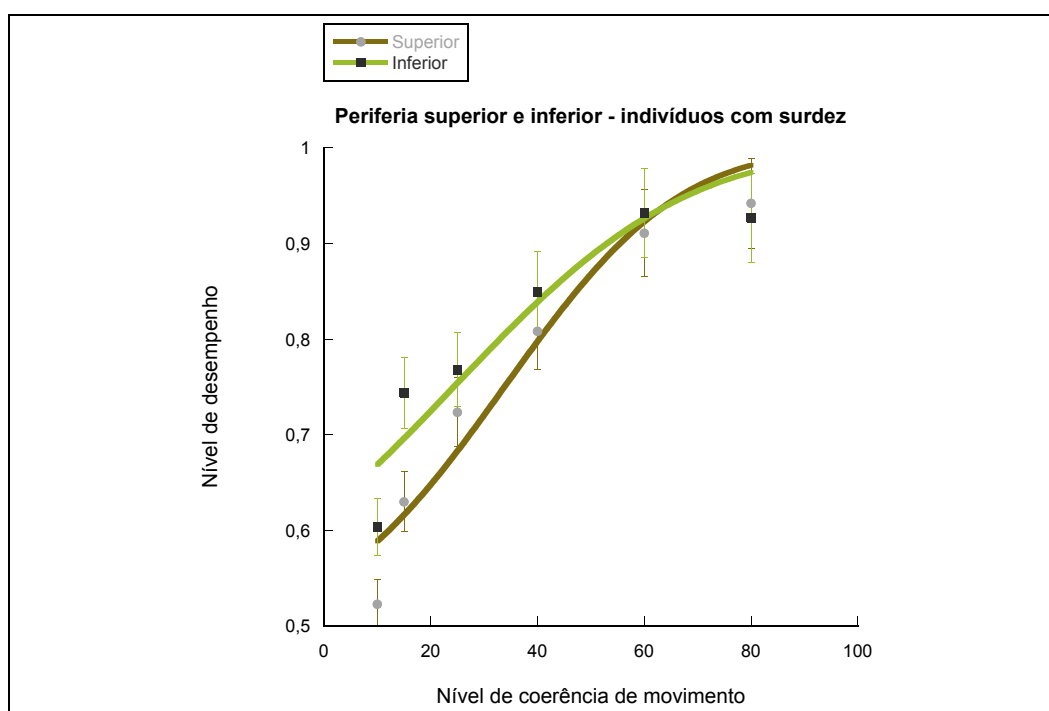


Figura 11: percentagem de desempenho em função da coerência de movimento no grupo com surdez relativamente às localizações superior (curva castanha) e inferior (curva verde).

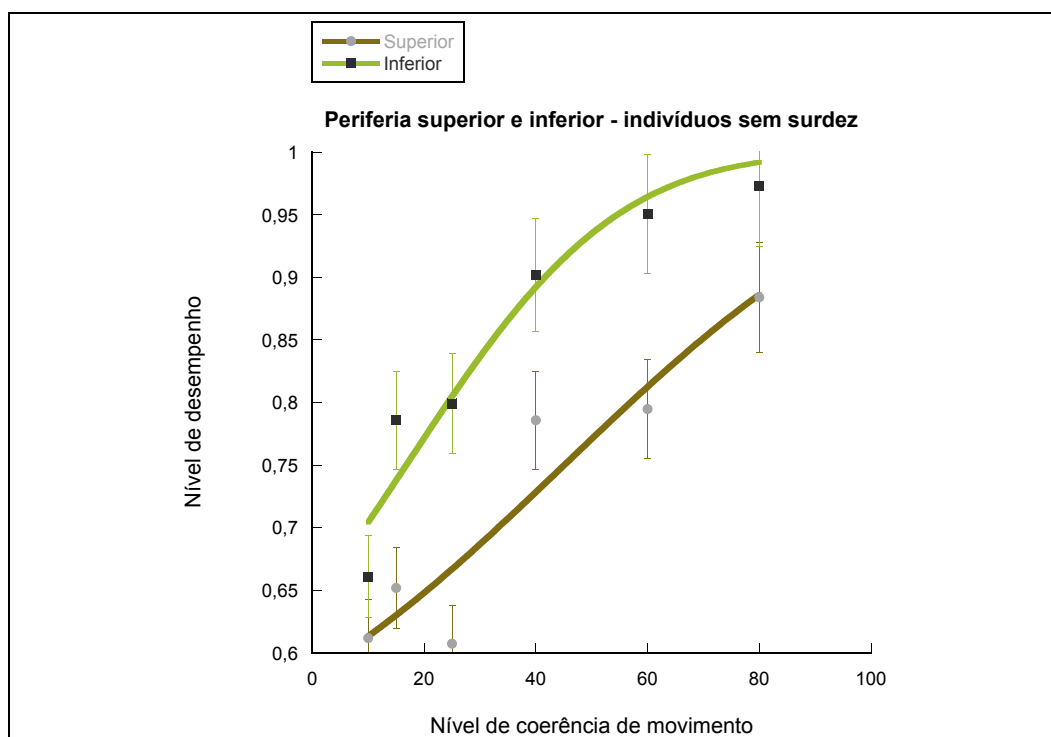


Figura 12: percentagem de desempenho em função da percentagem de coerência de movimento no grupo ouvinte nas localizações superior (curva castanha) e inferior (curva verde).

3.2.2.2. Análise dos limiares de coerência de movimento

As percentagens de coerência de movimento necessárias, no grupo com surdez, para um desempenho de 85% são, com base nos valores obtidos a partir das curvas psicométricas, de 44,9% na localização superior e de 32,5% na inferior. A análise dos contrastes planeados indica que as diferenças entre as localizações superior e inferior não são estatisticamente significativas para um desempenho de 85% ($t(11) = 1,271$; $MEP = 4,95$; $p = 0,23$), verificando-se resultados semelhantes para um desempenho de 90%. No entanto, para um desempenho de 75%, a diferença entre os níveis de coerência necessários nas localizações superior e inferior é estatisticamente significativa ($t(11) = 2,29$; $MEP = 5,36$; $p = 0,043$).

Em relação ao grupo sem surdez, de acordo com os valores obtidos a partir das curvas psicométricas, para um desempenho de 85%, as percentagens de coerência de movimento necessárias para os participantes ouvintes são de 44,8% na localização superior e de 30,5% na inferior. A análise dos contrastes planeados revela a diferença entre os desempenhos nas localizações superior e inferior é estatisticamente significativa

($t(10) = 3,146$; $MEP = 4,75$; $p = 0,01$). Em relação à coerência de movimento necessária para desempenhos de 75% e de 90%, verificaram-se resultados idênticos.

Comparando os resultados dos dois grupos em estudo, ao nível das localizações superior e inferior, verifica-se que existe em ambos os grupos um melhor desempenho no espaço visual inferior. No entanto, face aos resultados obtidos, essa diferença de desempenho parece ser mais acentuada no grupo de indivíduos ouvintes.

3.2.3. Influência das características audiológicas do grupo com surdez no processamento visual do eixo azimuth

A influência das características “grau de surdez”, “máximo de inteligibilidade com aparelhos auditivos” e “idade de início da utilização de aparelhos auditivos” no desempenho no eixo azimuth (limiar de 85%) foi testada através de regressão múltipla. A regressão utilizada teve assim, como variável dependente, o “limiar de coerência de movimento necessário para um desempenho de 85% no eixo azimuth” (tabela 4).

Tabela 4: análise por regressão múltipla com o limiar de coerência de movimento necessário para um desempenho de 85% no eixo azimuth como variável dependente e três componentes como variáveis independentes. Na tabela são apresentados os coeficientes beta e a significância estatística para cada variável independente, bem como o valor de R^2 .

	Coeficiente beta	Significância estatística
Componente 1 (grau de surdez)	0,042	0,947
Componente 2 (máximo de inteligibilidade)	-0,072	0,915
Componente 3 (idade de início de utilização de aparelhos)	0,248	0,518
R^2		0,05
valor de F		0,156

A regressão múltipla não foi significativa, verificando-se o mesmo com os diferentes preditores. A percentagem de variância explicada (R^2) foi também muito baixa. Deste modo, não se verifica uma relação linear entre as variáveis preditivas mencionadas e os níveis de coerência de movimento necessários para alcançar um desempenho de 85% no eixo azimuth.

4. DISCUSSÃO

4.1. Discussão dos resultados

O objectivo geral do presente estudo foi avaliar as diferenças ao nível do processamento visual no espaço central e periférico, considerando os eixos azimuth e meridiano que compõem este último, em indivíduos adultos com surdez congénita e em indivíduos adultos sem surdez.

De acordo com os resultados obtidos o grupo com surdez evidenciou um melhor desempenho no eixo azimuth, comparativamente com o centro. Estes resultados estão em linha com os de estudos anteriores realizados com humanos, tais como os estudos de Proksch & Bavelier (2002) ou Bosworth & Dobkins (2002), bem como em estudos realizados com animais, como o de Lomber *et al* (2011). Desde modo, tanto no presente estudo como nos mencionados, verificou-se um melhor desempenho na periferia relativamente ao centro, em tarefas comportamentais, por parte de indivíduos com surdez.

Tal como nos estudos anteriores, podemos concluir que as diferenças de desempenho apresentadas pelos indivíduos surdos na periferia relativamente ao centro se devem à ausência de input auditivo e não à exposição a uma língua gestual. Apesar de no presente estudo não termos um grupo com surdez e com conhecimentos de língua gestual e um grupo sem surdez, mas também com conhecimentos de língua gestual, o que poderia ser considerado uma limitação do estudo, metade dos nossos participantes com surdez não tinha quaisquer conhecimentos de língua gestual e a maioria dos restantes não a utilizava como língua principal. O facto de nos estudos anteriores, todos os participantes terem uma exposição acentuada a uma língua gestual, o que não se verifica no presente estudo, apesar de os resultados relativos à periferia serem semelhantes, reforça a conclusão de que as diferenças entre o desempenho no centro e na periferia, no grupo com surdez, não se devem à exposição à língua gestual.

Por outro lado, o melhor desempenho do grupo com surdez na presente tarefa comportamental, ao nível do eixo azimuth comparativamente com o centro, com diferenças estatisticamente significativas, está de acordo com os resultados neuronais obtidos por Almeida *et al* (2013). Tal como referido anteriormente, Almeida *et al* (2013) identificaram uma maior precisão na classificação do quadrante do estímulo visual na localização horizontal, comparativamente com a vertical. Consequentemente os autores admitiram que o córtex auditivo dos indivíduos com surdez congénita representa mais consistentemente a periferia horizontal do que a periferia vertical. Assim, os presentes resultados reforçam as conclusões de Almeida *et al* (2013).

Quanto ao grupo de participantes sem surdez, os presentes resultados demonstram que não existem diferenças estatisticamente significativas, nem entre as localizações horizontal e vertical, nem entre qualquer uma destas e a localização central.

Face a estes resultados é possível afirmar que a ausência de input auditivo conduz efectivamente a um remapeamento do input visual para o córtex auditivo nos indivíduos com surdez. No entanto, segundo Almeida *et al* (2013), o córtex auditivo parece fazer mais do que um simples processamento de informação visual, existindo indícios de que adopta também alguns dos princípios básicos organizacionais do córtex visual.

Tal como descrito anteriormente, no presente estudo utilizou-se uma tarefa distractora com o objectivo de criar um factor de sobrecarga atencional, de forma a tentar compreender se este tinha alguma influência no desempenho dos participantes. Todos os participantes que entraram na presente análise tiveram um bom desempenho, tanto na tarefa principal como na tarefa distractora. A tarefa distractora terá potencialmente levado a limiares mais altos do que normalmente, mas não impossibilitou o desempenho na tarefa de detecção da coerência de movimento. Desta forma, pode-se concluir que o desempenho dos indivíduos com surdez não teve a sua base somente em processos atencionais, mas sim em processos perceptivos.

Relativamente às diferenças entre os desempenhos no campo visual esquerdo e no campo visual direito, tal como referido no capítulo anterior, não se verificaram diferenças estatisticamente significativas em nenhum dos grupos. Antes de mais, conclui-se que as diferenças estatisticamente significativas entre o desempenho no eixo azimute e o centro, no grupo com surdez, não se devem a um dos componentes do eixo azimute em particular, mas a este como um todo.

Na comparação de desempenhos nos campos visual esquerdo e direito, Bosworth & Dobkins (2002) verificaram que os participantes com surdez (e conhecimentos de língua gestual) apresentaram um melhor desempenho no espaço visual direito do que no espaço visual esquerdo, sendo as diferenças estatisticamente significativas. Nos participantes ouvintes e sem conhecimentos de língua gestual não se verificaram diferenças entre a esquerda e a direita. O desempenho dos participantes com surdez e conhecimentos de língua gestual, não revelou diferenças em comparação com o de indivíduos sem surdez, mas também com conhecimentos de língua gestual. Deste modo, Bosworth & Dobkins (2002) consideraram que as semelhanças de desempenho relativamente ao espaço visual direito, que se verificam entre os indivíduos surdos e os ouvintes com conhecimentos de língua gestual, tinham a sua origem na exposição à língua gestual e não na privação auditiva.

Bosworth & Dobkins (2002) consideraram ainda que esta vantagem ao nível do espaço visual direito/hemisfério esquerdo pode ser originada no período crítico para a aquisição de linguagem. Assim, o processamento de movimento poderá sofrer uma lateralização

para o hemisfério esquerdo neste período, que corresponde ao período em que o hemisfério esquerdo se define como dominante para o processamento da linguagem. Perante esta possibilidade, pode colocar-se a hipótese de este desempenho diferenciado ao nível do espaço visual direito/hemisfério esquerdo não se verificar em indivíduos com conhecimentos de língua gestual, mas em que esta não é uma língua nativa. Os resultados de Bosworth & Dobkins, relativos a indivíduos com surdez que aprenderam língua gestual durante a adolescência, ou já na idade adulta, revelam desempenhos semelhantes aos de indivíduos sem surdez e sem conhecimentos de língua gestual.

As conclusões de Bosworth & Dobkins (2002) descritas no parágrafo anterior estão de acordo com os resultados obtidos no presente estudo. Os resultados semelhantes entre ambos os grupos, ou seja, a ausência de assimetrias entre os campos visuais esquerdo e direito poderá ser explicado pelo facto, já referido, de os sujeitos do presente grupo com surdez terem tido, na sua maioria, uma exposição reduzida, ou mesmo inexistente, à língua gestual portuguesa, que se pode considerar como língua nativa apenas em dois dos catorze participantes surdos.

Relativamente às diferenças de desempenho entre os espaços visuais superior e inferior, os resultados obtidos no presente estudo não estão de acordo com os obtidos por Bosworth & Dobkins (2002). Assim, verificámos que o nosso grupo de ouvintes apresentou diferenças estatisticamente significativas, entre os espaços referidos, com um melhor desempenho ao nível espaço visual inferior. O grupo com surdez apresentou resultados semelhantes, mas com diferenças entre os espaços superior e inferior consideravelmente menores.

No estudo de Bosworth & Dobkins (2002), os autores verificaram que os indivíduos com surdez (e que dominavam uma língua gestual), apresentaram um melhor desempenho no espaço visual inferior, não tendo verificado diferenças entre os grupos de ouvintes (os que tinham e os que não tinham conhecimentos de língua gestual). Este facto levou à conclusão de que a assimetria teria a sua origem na privação auditiva e não na exposição a uma língua gestual. Bosworth & Dobkins (2002) admitiram ainda que o melhor desempenho ao nível do espaço visual inferior poderia ser também influenciado pelo maior ou menor grau de exposição à língua gestual ao longo da vida. Assim, o facto de os indivíduos ouvintes que dominavam uma língua gestual estarem menos expostos a esta no seu dia a dia, comparativamente com os indivíduos surdos que também dominavam esta língua, poderia ser uma explicação para o melhor desempenho dos surdos no espaço visual inferior.

De acordo com a perspectiva de Danckert & Goodale (2001), a via visual dorsal, que vai do córtex visual primário (V1) até ao lobo parietal posterior, desempenha um papel importante no controlo de movimentos guiados visualmente. Muitas das áreas visuais da via dorsal dos macacos recebem input proveniente de toda a retina, incluindo da região mais periférica. Além disso, em algumas regiões dorsais, tais como a área parieto-

occipital, a porção do córtex dedicada à fóvea não é maior do que seria expectável, ou seja, não há uma magnificação da visão central. Em contraste, a via visual ventral, que vai de V1 até ao córtex inferotemporal, recebe a maior parte do seu input da retina fóveal e parafóveal, reflectindo um papel no reconhecimento de objectos e percepção de cenário. As áreas receptoras de células no córtex inferotemporal dos macacos incluem, por norma, a fóvea e muito pouco da periferia mais distante (Danckert & Goodale, 2001).

Para Danckert & Goodale (2001), existem algumas evidências que sugerem que as diferenças na representação do espaço visual entre as vias dorsal e ventral pode também ser evidente ao longo das porções superior e inferior do espaço visual. Tanto em humanos como em macacos, a distribuição dos gânglios de células ao longo de toda a extensão da retina não é uniforme. Além da fóvea, existe uma maior quantidade de células ganglionares nas hemiretinas superior e nasal. A densidade de células ganglionares é cerca de 60% maior na hemiretina superior, sugerindo uma tendência para o processamento do estímulo visual no espaço visual inferior. Esta assimetria parece manter-se até ao nível do núcleo geniculado lateral dorsal e até ao interior dos córtices estriado e extra-estriado do macaco (Danckert & Goodale, 2001). Relativamente aos humanos, os potenciais evocados visuais e os estudos com magnetoencefalografia encontraram sinais mais fortes no córtex occipital, com a estimulação, no espaço visual inferior. Por último, dentro da via dorsal em si mesma, alguns estudos realizados com macacos demonstraram uma sobre-representação do espaço visual inferior na área MT e na área V6A, a qual desempenha um papel no controlo visual da preensão (Danckert & Goodale, 2001).

Se o sistema visuomotor no cérebro humano apresenta uma tendência para o processamento da informação do espaço visual inferior, então é expectável que tal tendência se verifique em determinados tipos de tarefas. Para testar esta ideia, Danckert & Goodale (2001) recorreram a uma tarefa de apontar de forma visualmente guiada. A tarefa obrigava os participantes a fazer movimentos de apontar, rápidos e precisos para alvos de diferentes tamanhos. Por norma, os movimentos dos participantes foram mais lentos para alvos mais pequenos, reflexo de uma maior exigência de precisão para estes alvos. Assim, foi possível explorar o desempenho dos participantes, ao nível da velocidade e da precisão, no espaço visual superior e no espaço visual inferior, para investigar uma possível predisposição no controlo visuomotor nestas regiões do espaço.

Quando os participantes observavam alvos ao nível do espaço visual inferior, demonstraram uma relação clara entre dimensão do alvo e velocidade do movimento, com o pico de velocidade dos movimentos a aumentar, à medida que aumentava o tamanho do alvo. A mesma relação não foi evidente quando os participantes observavam alvos no espaço visual superior (Danckert & Goodale, 2001). Além disso, os movimentos feitos para os alvos no espaço visual inferior foram mais precisos que os movimentos no espaço visual superior. Esta diferença, ao nível do desempenho, entre os espaços visuais superior e inferior ocorreu numa situação em que as condições biomecânicas dos

movimentos são idênticas em ambas as condições visuais. Deste modo, o melhor desempenho para movimentos feitos ao nível do espaço visual inferior reflectiu, de facto, uma predisposição no processamento que continua dentro das vias visuais centrais, particularmente em regiões da via dorsal, que parece desempenhar um papel especial no controlo visual de movimentos de pericia (Danckert & Goodale, 2001).

Os resultados de Danckert & Goodale (2001) estão de acordo com os obtidos no presente estudo, especialmente em relação ao grupo sem surdez, até porque os participantes do estudo de Danckert & Goodale (2001) eram também indivíduos sem surdez. No entanto, não explicam o facto de, no presente estudo, as diferenças de desempenho entre o espaço visual superior e inferior serem mais acentuadas no grupo sem surdez relativamente ao grupo com surdez.

4.2. Estudos futuros

Todos os indivíduos que participaram no presente estudo utilizavam aparelhos auditivos, sendo que a maioria apresentava um desempenho auditivo funcional bastante aceitável com os mesmos. A idade com que os participantes neste estudo começaram a utilizar aparelhos auditivos foi de 1 ano num dos casos, 2 anos em seis dos participantes, 3 anos em dois participantes, 4 anos também em dois participantes e outros dois iniciaram a utilização aos 5 anos.

Yoshinaga-Itano, Sedey, Coulter & Mehl (1998) compararam as capacidades de linguagem receptiva e expressiva de 72 crianças, cuja surdez foi identificada até aos 6 meses de vida e intervencionada nos 2 meses seguintes, com um grupo de 78 crianças cuja surdez foi identificada após os 6 meses e também intervencionada num espaço de 2 meses após a detecção.

Os resultados demonstraram um melhor desenvolvimento linguístico nas crianças identificadas até aos 6 meses, o que se deve apenas à idade de identificação e de intervenção, pois foram transversais a factores como género, grau de surdez e extracto sócio-económico.

Com base nos resultados de Yoshinaga-Itano *et al* (1998), é de questionar a forma como ocorreria e como é que se manifestaria, a plasticidade compensatória em indivíduos com surdez e com uma intervenção precoce (consequentemente com uma estimulação auditiva adequada também numa idade precoce). Ou seja, será que estes indivíduos apresentariam resultados semelhantes ao do presente grupo com surdez e aos de estudos anteriores? Ou apresentariam resultados semelhantes aos do grupo sem surdez, por terem passado por um período mais curto de privação auditiva, dentro daquele que é considerado o período crítico para o desenvolvimento auditivo?

Conforme abordado no capítulo anterior, no presente estudo não se verificou uma relação linear entre variáveis audiológicas (tais como o grau de surdez, o máximo de inteligibilidade verbal conseguido com aparelhos auditivos, a idade de início de utilização de aparelhos auditivos) e os níveis de coerência de movimento necessários para alcançar um desempenho de 85% no eixo azimute. Esta ausência de relação poderá estar relacionada com a dimensão reduzida do grupo com surdez estudado neste trabalho (14 indivíduos). Deste modo, para tentar perceber se poderá existir uma relação entre as variáveis referidas, poder-se-ia aplicar a tarefa utilizada neste estudo a um grupo com surdez de maior dimensão que o actual, ou mesmo, a vários grupos com surdez, definidos em função do grau da mesma e de outras variáveis audiológicas.

Por outro lado, atendendo ao facto de os implantes cocleares permitirem um melhor desempenho funcional que os aparelhos auditivos por estimulação acústica a muitos indivíduos com surdez profunda (Baudonck, Dhooge & Lierde, 2010; Baudonck, Dhooge, D'haeseleer & Lierde, 2010; Iwasaki *et al*, 2012), seria igualmente importante avaliar o processamento visual no espaço visual central e periférico nestes indivíduos (considerando que a correcção da surdez foi feita precocemente), de forma a tentar compreender se este tipo de estimulação, que é eléctrica e não acústica, produz alterações na plasticidade compensatória em indivíduos com surdez. É igualmente importante perceber se, e como, é que a plasticidade compensatória interfere no desempenho funcional com implante coclear.

4.3. Conclusão

O presente estudo permitiu concluir que os indivíduos com surdez apresentam um melhor desempenho no espaço visual periférico, em comparação com o central, enquanto os indivíduos sem surdez não apresentam diferenças entre o centro e a periferia. Além disso, o melhor desempenho na periferia que os participantes surdos apresentaram é devido, em particular, à vantagem que evidenciam no eixo horizontal/azimute comparativamente com o eixo vertical/meridiano. Estes resultados, originados por plasticidade compensatória num quadro de privação auditiva e não pela exposição a uma língua gestual, estão em linha com os obtidos em estudos anteriores.

Relativamente ao desempenho no espaço visual esquerdo e no espaço visual direito, não se verificaram diferenças entre ambos, o que poderá estar relacionado com a fraca exposição à língua gestual do presente grupo com surdez. Já ao nível do desempenho nos espaços visuais superior e inferior, verifica-se um melhor desempenho no espaço visual inferior, em ambos os grupos (embora mais evidente no grupo sem surdez), o que poderá estar relacionado com o papel da via visual dorsal.

Uma conclusão interessante do presente estudo, reside no facto de se ter verificado que, contrariamente aos indivíduos surdos que participaram em alguns dos estudos anteriores, que não tinham qualquer tipo de estimulação auditiva e apresentavam um determinado nível de plasticidade compensatória, o grupo com surdez que participou neste estudo não estava privado de estimulação auditiva, apresentando em muitos casos um bom desempenho funcional com a mesma, mas não deixou de revelar um determinado nível de plasticidade compensatória.

A plasticidade compensatória evidenciada pelos indivíduos com surdez que participaram no presente estudo poderá ser uma das causas da ausência de um bom resultado funcional, seja com implantes cocleares, seja com próteses auditivas, que por vezes se verificam tanto em crianças como em adultos. É bastante provável que estes casos estejam relacionados com situações de plasticidade compensatória irreversível ou, pelo menos, mais acentuada.

Na investigação feita ao nível do desenvolvimento tecnológico tanto nas áreas de próteses auditivas como de implantes cocleares, a forma e os mecanismos segundo os quais ocorre a plasticidade compensatória cortical nos indivíduos com surdez, bem como os efeitos da mesma, deveriam ser considerados. Enquanto tal não for possível, ou pelo menos não se traduzir em resultados concretos, em todos os casos de diagnóstico de surdez, a intervenção deverá ser o mais célere possível, com o objectivo de evitar o menor grau possível de plasticidade compensatória, que possa pôr em causa um bom desempenho funcional.

Paralelamente, a forma como o processo de re-habilitação auditiva é conduzido, quer na criança, quer no adulto e no idoso, deverá ter sempre em linha de conta um determinado nível de plasticidade compensatória e a possibilidade de se tirar partido da mesma para um melhor desempenho funcional, com o apoio da componente visual.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Almeida, J., He, D., Chen, Q., Mahon, B., Nunes, G., Gonçalves, O., Fang, F., Bi, Y. (submetido). Visual representations in the auditory cortex of the congenitally deaf. *Manuscrito não publicado*.

American Speech-Language-Hearing Association (n.d.). *Causes of hearing loss in children*. Recuperado em 19 de Agosto, 2012, de <http://www.asha.org/public/hearing/Causes-of-Hearing-Loss-in-Children>.

Bavelier, D., Tomann, A., Hutton, C., Mitchell, T., Corina, D., Liu, G., Neville, H. (2000). Visual attention to the periphery is enhanced in congenitally deaf individuals. *The Journal of Neuroscience*. 20, 1-6.

Bavelier, D. & Neville, H. (2002). Cross-modal plasticity: where and how? *Nature Reviews: Neuroscience*. 3, 443-452.

Bavelier, D., Dye, M., Hauser, P. (2006). Do deaf individuals see better? *Trends in Cognitive Sciences*. 10(11), 512-518.

Baudonck, N., Dhooge, I., Lierde, K. (2010). Intelligibility of hearing impaired children as judged by their parents: a comparison between children using cochlear implants and children using hearing aids. *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology*. 74, 1310-1315.

Baudonck, N., Dhooge, I., D'haeseleer, E., Lierde, K. (2010). A comparison of the consonant production between Dutch children using cochlear implants and children using hearing aids. *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology*. 74, 416-421.

Bosworth, R. & Dobkins, K. (2002). Visual field asymmetries for motion processing in deaf and hearing signers. *Brain and Cognition*. 49, 170-171.

Bottari, D., Caclin, A., Giard, M., Pavani, F. (2011). Changes in early cortical visual processing predict enhanced reactivity in deaf individuals. *PLoS ONE*. 6(9), 1-10.

Buchel, C.; Price, C.; Frackowiak, R.; Friston, K. (1998). Different activation patterns in the visual cortex of late and congenitally blind subjects. *Brain*. 121, 409-419.

Bullier, J. (2001). Integrated model of visual processing. *Brain Research Reviews*. 36, 96-107.

Bureau International d'Audiophonologie. (1997). *BIAP Recommendation 02/1 bis: Audiometric classification of hearing impairments*. Recuperado em 19 de Agosto, 2012, de <http://www.biap.org/en/recommendations/65-ct-2-classification-des-surdites/5-recommandation-biap-021-bis>.

Codina, C., Pascalis, O., Mody, C., Toomey, P., Rose, J., Gummer, L., Buckley, D. (2011). Visual advantage in deaf adults linked to retinal changes. *PLoS One*. 6(6).

Cohen, L., Celnik, P., Pascual-Leone, A., Corwell, B., Falz, L., Dambrosia, J., Honda, M., Sadato, N., Gerloff, C., Catalá, M., Hallett, M. (1997). Functional relevance of cross-modal plasticity in blind humans. *Nature*. 389, 180-183.

Collignon, O., Vandewalle, G., Voss, P., Albouy, G., Charbonneau, G., Lassonde, M., Lepore, F. (2011). Functional specialization for auditory-spatial processing in the occipital cortex of congenitally blind humans. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 108, 4435-4440.

Cooper, H., Herbin, M., Nevo, E. (1993). Visual system of a naturally microphthalmic mammal: the blind mole rat, *Spalax ehrenbergi*. *The Journal of Comparative Neurology*. 328, 313-350.

Danckert, J. & Goodale, M. (2001). Superior performance for visually guided pointing in the lower visual field. *Experimental Brain Research*. 137, 303-308.

Das, A. & Gilbert, C. (1995). Long-range horizontal connections and their role in cortical reorganization revealed by optical recording of cat primary visual cortex. *Nature*. 375, 780-784.

Davis, H. (1978). Abnormal hearing and deafness. In H. Davis & R. Silverman (Eds.), *Hearing and Deafness* (4th ed., pp. 87-146). New York: Holt, Rinehart and Winston.

Doucet, M., Bergeron, F., Lassonde, M., Ferron, P., Lepore, F. (2006). Cross-modal reorganization and speech perception in cochlear implant users. *Brain*. 129, 3376-3383.

Falchier, A., Barone, P., Kennedy, H., Renaud, L. (2001). Extensive projections from the primary auditory cortex and polysensory area STP to peripheral area V1 in the macaque. *Society for Neuroscience Abstracts*. 27, 1342.

Fine, I., Finney, E., Boynton, G., Dobkins, K. (2005). Comparing the effects of auditory deprivation and sign language within the auditory and visual cortex. *Journal of Cognitive Neuroscience*. 17(10), 1621-1637.

Finney, E., Fine, I., Dobkins, K. (2001). Visual stimuli activate auditory cortex in the deaf. *Nature Neuroscience*. 4, 1171-1173.

Flexer, C. & Madell, J. (2008). Why is hearing important in children? In J. Madell & C. Flexer (Eds.), *Pediatric Audiology: diagnosis, technology and management* (pp. xix-xxii). New York: Thieme.

Florence, S., Taub, H., Kaas, J. (1998). Large-scale sprouting of cortical connections after peripheral injury in adult macaque monkeys. *Science*. 282, 1062-1063.

Frasnelli, J., Collignon, O., Voss, P., Lepore, F. (2011). Crossmodal plasticity in sensory loss. *Progress in Brain Research*. 191, 233-249.

Frost, D., Boire, D., Gingras, G., Ptito, M. (2000). Surgically created neural pathways mediate visual pattern discrimination. *Proceedings of the National Academy of Science*. 97, 11068-11073.

Garcia-Marques, T. (1997). A hipótese de estudo determina a análise estatística: um exemplo com o modelo ANOVA. *Análise Psicológica*. 15, 19-28.

Gelfand, S. (2001). *Essentials of Audiology* (2nd edition). New York: Thieme.

Gilbert, C. (1999). Neural plasticity. In R. Wilson & F. Keil (Eds.), *The MIT Encyclopedia of the Cognitive Sciences* (pp. 598-600). Cambridge, Massachusetts: The MIT Press.

Hyde, P. & Knudsen, E. (2002). The optic tectum controls visually guided adaptive plasticity in the owl's auditory space map. *Nature*. 415, 73-76.

Innocenti, G. (1995). Exuberant development of connections, and its possible permissive role in cortical evolution. *Trends in Neuroscience*. 18, 397-402.

Iwasaki, S., Nishio, S., Moteki, H., Takumi, Y., Fukushima, K., Kasai, N., Usami, S. (2012). Language development in Japanese children who receive cochlear implant and/or hearing aid. *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology*. 76, 433-438.

Jones, E. & Pons, T. (1998). Thalamic and brainstem contributions to large-scale plasticity of primate somatosensory cortex. *Science*. 282, 1062-1063.

Klinke, R., Kral, A., Heid, S., Tillein, J., Hartmann, R. (1999). Recruitment of the auditory cortex in congenitally deaf cats by long-term cochlear electrostimulation. *Science*. 285, 1729-1733.

Knudsen, E. & Brainard, M. (1995). Creating a unified representation of visual and auditory space in the brain. *Annual Review of Neuroscience*. 18, 19-43.

Kral, A., Hartmann, R., Tillein, J., Heid, S., Klinke, R. (2001). Delayed maturation and sensitive periods in the auditory cortex. *Audiology and Neurotology*. 6, 346-362.

Lambertz, N., Gizewski, E., Greiff, A., Forsting, M. (2005). Cross-modal plasticity in deaf subjects dependent on the extent of hearing loss. *Cognitive Brain Research*. 25(3), 884-890.

Lee, D., Lee, J., Oh, S., Kim, S., Kim, J., Chung, J., Lee, M., Kim, C. (2001). Deafness: Cross-modal plasticity and cochlear implants. *Nature*. 409, 149-150.

Lessard, N., Pare, M., Lepore, F., Lassonde, W. (1998). Early-blind human subjects localize sound sources better than sighted subjects. *Nature*. 395, 278-280.

Levänen, S.; Jousmaki, V.; Hari, R. (1998). Vibration-induced auditory-cortex activation in a congenitally deaf adult. *Current Biology*. 8, 869-872.

Levänen, S. & Hamdorf, D. (2001). Feeling vibrations: enhanced tactile sensitivity in congenitally deaf humans. *Neuroscience Letters*. 301, 75-77.

Lomber, S., Meredith, M., Kral, A. (2010). Cross-modal plasticity in specific auditory cortices underlies visual compensations in the deaf. *Nature Neuroscience*. 13, 1421-1427.

Lomber, S., Meredith, M., Kral, A. (2011). Adaptive crossmodal plasticity in deaf auditory cortex: areal and laminar contributions to supranormal vision in the deaf. *Progress in brain research*. 191, 251-260.

Merabet, L. & Pascual-Leone, A. (2010). Neural reorganization following sensory loss: the opportunity of change. *Nature Reviews: Neuroscience*. 11, 44-52.

Meredith, M., Kryklywy, J., McMillan, A., Malhotra, S., Lum-Tai, R., Lomber, S. (2011). Crossmodal reorganization in the early deaf switches sensory, but not behavioral roles of auditory cortex. *PNAS Early Edition*. 1-6.

Metin, C. & Frost, D. (1989). Visual responses of neurons in somatosensory cortex of hamsters with experimentally induced retinal projections to somatosensory thalamus. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 86, 357-361.

Neville, H. & Lawson, D. (1987). Attention to central and peripheral visual space in a movement detection task: an event-related potential and behavioral study. II. Congenitally deaf adults. *Brain Research*. 405, 268-283.

Neville, H., Schmidt A., Kutas, M. (1983). Altered visual-evoked potentials in congenitally deaf adults. *Brain Research*. 266(1), 127-132.

Nishimura, H., Hashikawa, K., Doi, K., Iwaki, T., Watanabe, Y., Kusuoka, H., Nishimura, T., kubo, T. (1999). Sign language “heard” the auditory cortex. *Nature*. 397, 116.

Pascual-Leone, A. & Walsh, V. (2001). Fast backprojections from the motion to the primary visual area necessary for visual awareness. *Science*. 292, 510-512.

Proksch, J. & Bavelier, D. (2002). Changes in the spatial distribution of visual attention after early deafness. *Journal of Cognitive Neuroscience*. 14(5), 687-701.

Ptito, M., Giguère, J., Boire, D., Frost, D., Casanova, C. (2001). When the auditory cortex turns visual. *Progress in Brain Research*. 134, 447-458.

Ramachandram, V. (1993). Filling in gaps in perception: Part 2. Scotomas and phantom limbs. *Current Directions in Psychological Science*. 2, 56-65.

Rebillard, G., Carlier, E., Rebillard, M., Pujol, R. (1977). Enhancement of visual responses on the primary auditory cortex of the cat after an early destruction of cochlear receptors. *Brain Research*. 129, 162-164.

Rehm, H. & Madore, R. (2008). Genetics of hearing loss. In J. Madell & C. Flexer (Eds.), *Pediatric Audiology: diagnosis, technology and management* (pp. 13-22). New York: Thieme.

Rodríguez, M. & Huarte, A. (2008). Incidencia y causas de la sordera: Exploración y diagnóstico. In C. Jáudenes (Ed.), *Manual básico de formación especializada sobre discapacidad auditiva* (3ªed., pp. 50-55). Madrid: Confederación Española de Familias de Personas Sordas.

Rosenthal, R., Rosnow, R., Rubin, D. (2000). *Contrasts and effect sizes in behavioral research: a correlation approach*. New York: Cambridge University Press.

Sadato, N., Yamada, H., Okada, T., Yoshida, M., Hasegawa, T., Matsuki, K., Yonekura, Y., Itoh, H. (2004). Age dependent plasticity in the superior temporal sulcus in deaf humans: a functional MRI study. *BMC Neuroscience*. 5, 56.

Sathian, K. (2000). Practice makes perfect: sharper tactile perception in the blind. *Neurology*. 54, 2203-2204.

Stach, B. & Ramachandran, V. (2008). Hearing disorders in children. In J. Madell & C. Flexer (Eds.), *Pediatric Audiology: diagnosis, technology and management* (pp. 3-10). New York: Thieme.

Sur, M., Garraghty, P., Roe, A. (1988). Experimentally induced visual projections into auditory thalamus and cortex. *Science*. 242, 1437-1441.

Veraart, C., Volder, A., Wanet-Defalque, M., Bol, A., Michel, C., Goffinet, A. (1990). Glucose utilization in human visual cortex is abnormally elevated in blindness of early onset but decreased in blindness of late onset. *Brain Research*. 510, 115-121.

Villalba, A. (2008). Implicaciones de la sordera: repercusiones en el desarrollo lingüístico, cognitivo, afectivo y social. In C. Jáudenes (Ed.), *Manual básico de formación especializada sobre discapacidad auditiva* (3ªed., pp. 186-190). Madrid: Confederación Española de Familias de Personas Sordas.

von Melchner, L., Pallas, S., Sur, M. (2000). Visual behavior mediated by retinal projections directed to the auditory pathway. *Nature*. 404, 871-876.

Voss, P., Lassonde, M., Gougoux, F., Fortin, M., Guillemot, J., Lepore, F. (2004). Early and late onset blind individuals show supra-normal auditory abilities in far-space. *Current Biology*. 14, 1734-1738.

Wan, C., Wood, A., Reutens, D., Wilson, S. (2010). Early but not late-blindness leads to enhanced auditory perception. *Neuropsychologia*. 48, 344-348.

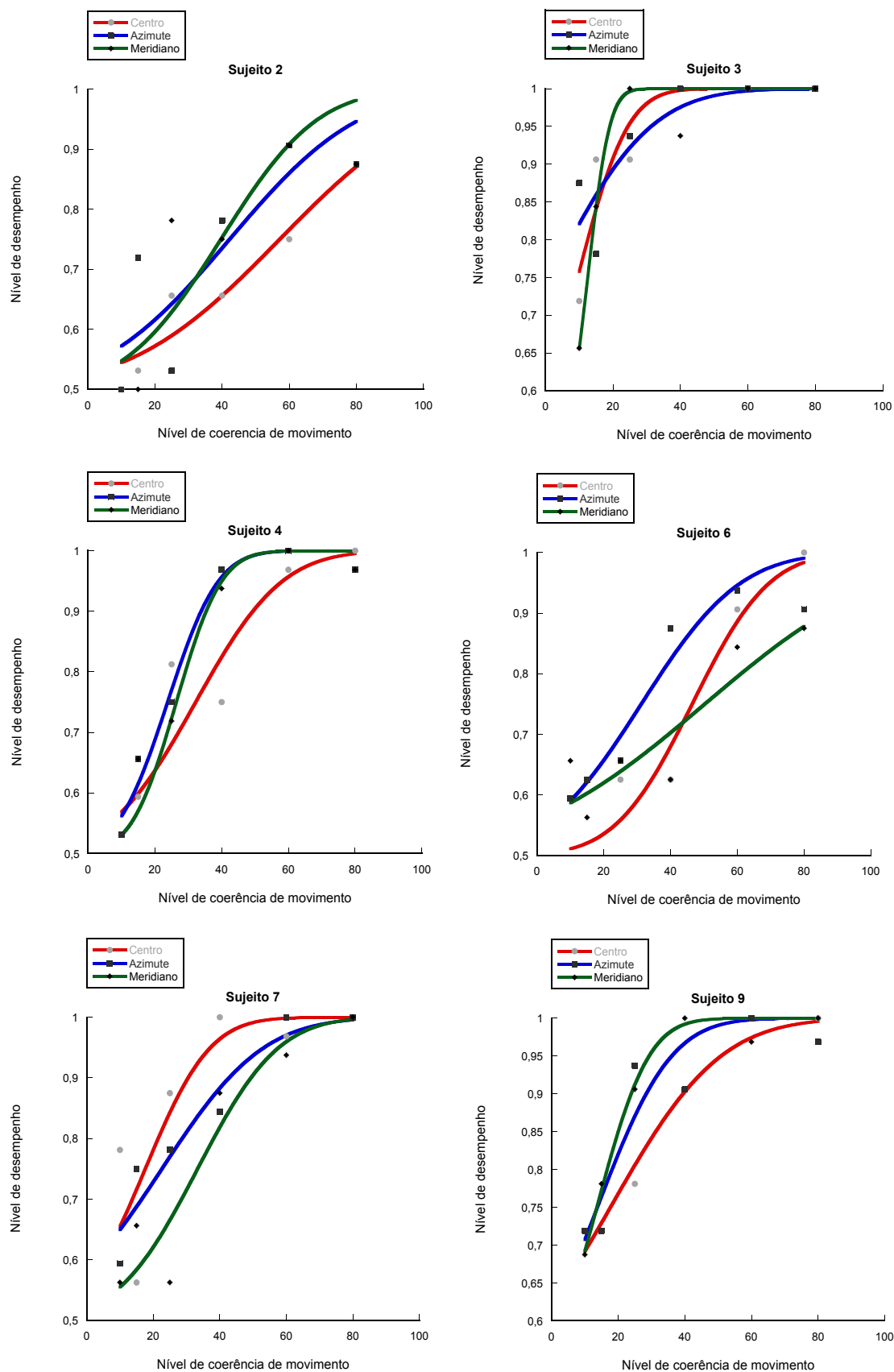
Weeks, R., Horwitz, B., Aziz-Sultan, A., Tian, B., Wessinger, C., Cohen, L., Hallet, M., Rauschecker, J. (2000). A positron emission tomographic study of auditory localization in the congenitally blind. *The Journal of Neuroscience*. 20, 2664-2672.

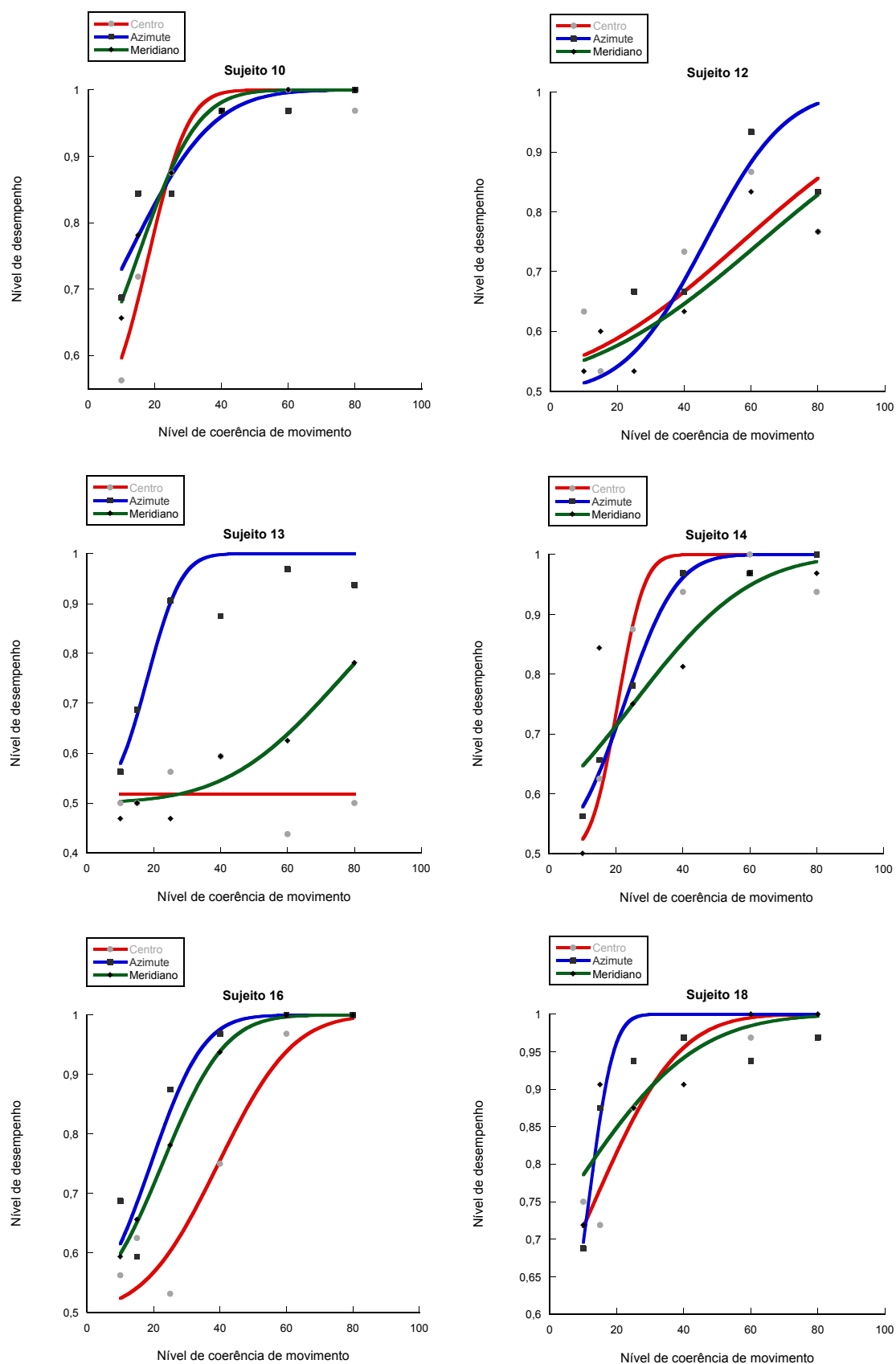
Yoshinaga-Itano, C., Sedey, A., Coulter, D., Mehl, A. (1998). Language of early- and later-identified children with hearing loss. *Pediatrics*. 102, 1161-1171.

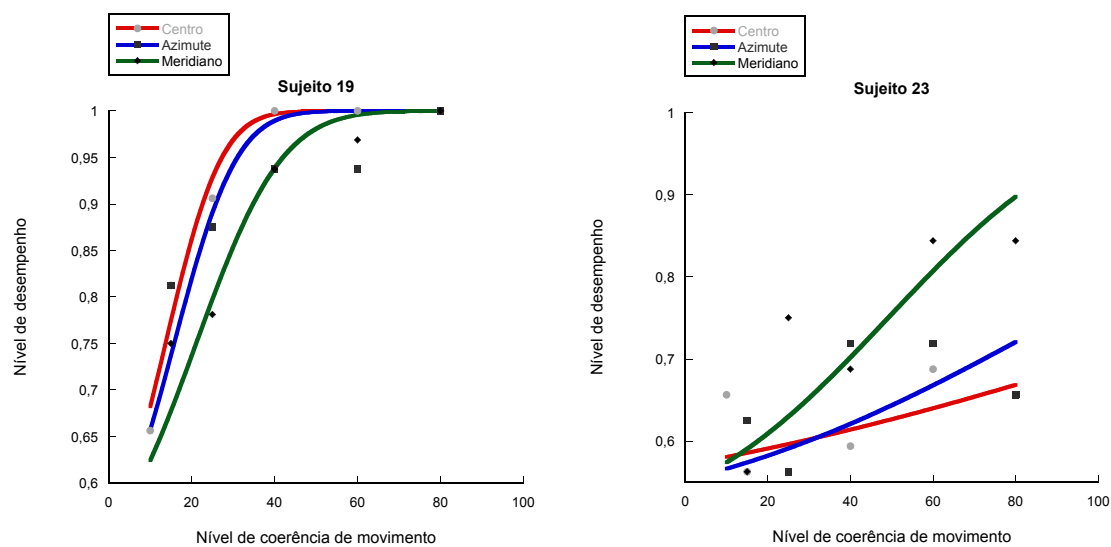
ANEXOS

Anexo A1

Gráficos individuais do nível de coerência de movimento (%)
para um determinado desempenho – grupo com surdez

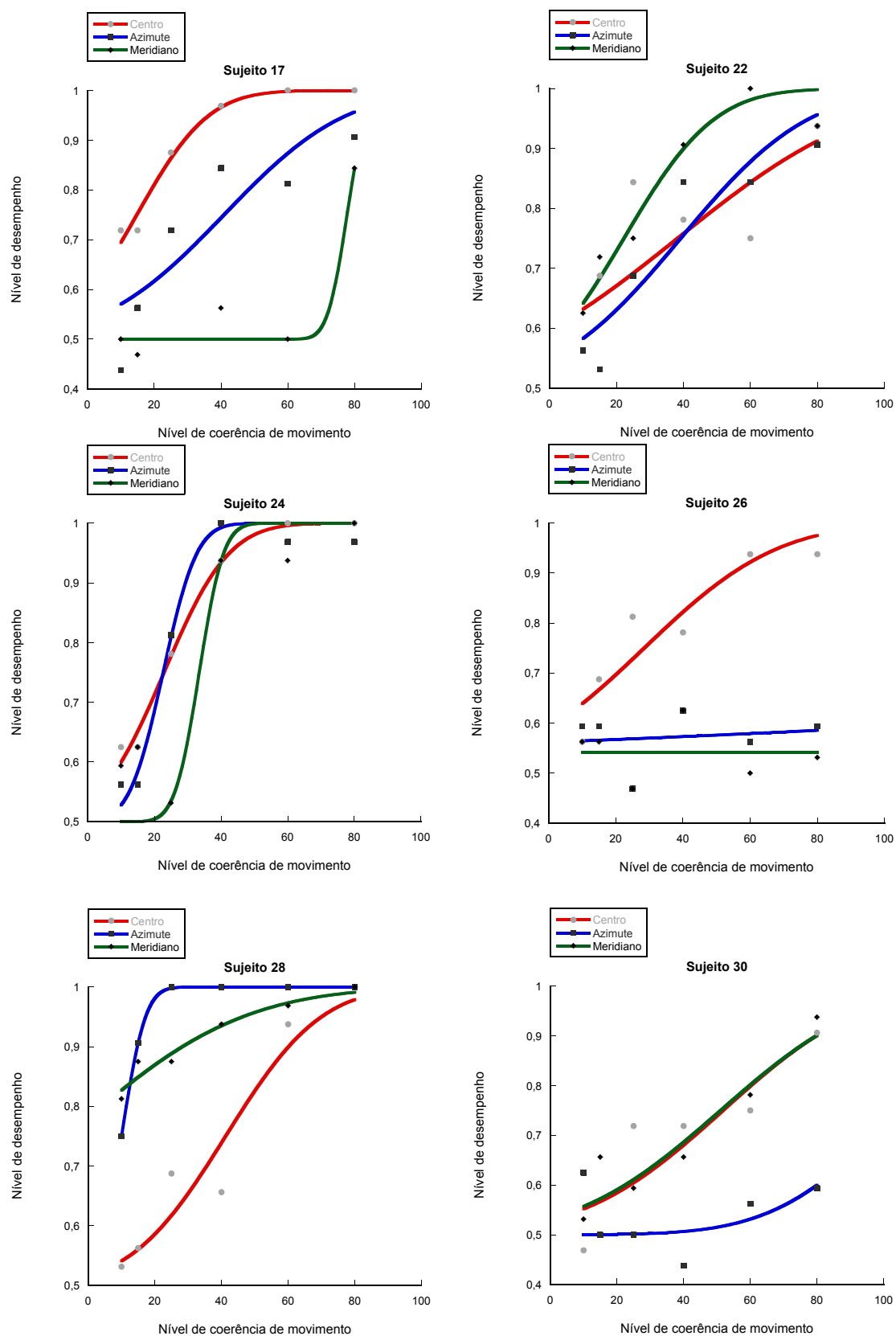


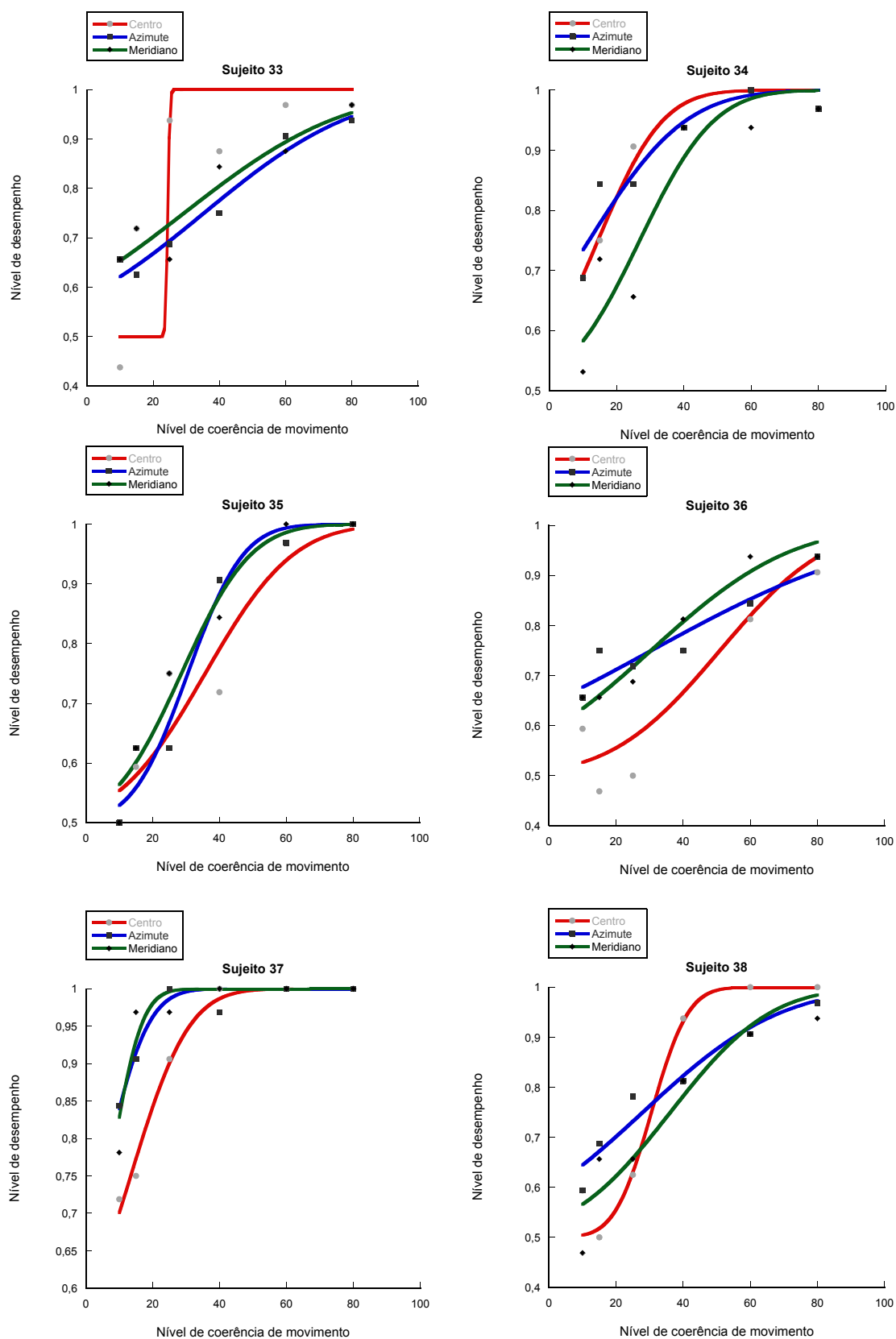


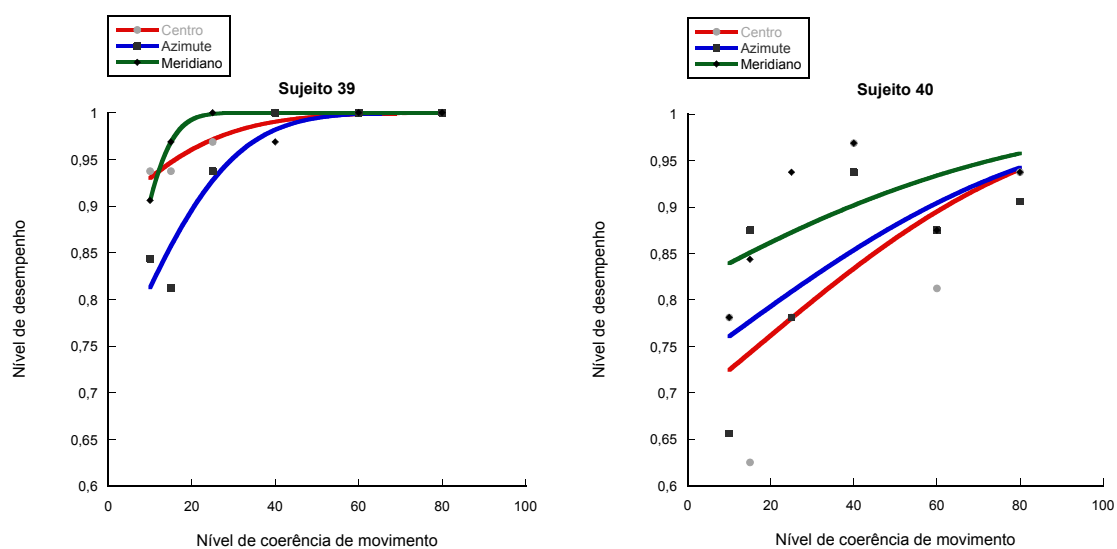


Anexo A2

Gráficos individuais do nível de coerência de movimento (%)
para um determinado desempenho – grupo sem surdez







Anexo B

Questionário

Universidade de Lisboa
Mestrado em Ciência Cognitiva

*Processamento visual no espaço central e periférico
em indivíduos com surdez congénita*

Questionário

Idade: ____

Sexo: Masculino ____ Feminino ____

Grau de escolaridade: ____

Profissão: ____

Tem problemas de visão? Sim ____ Não ____

Caso tenha respondido “sim” na pergunta anterior, refira, caso saiba, qual problema de visão e o respectivo grau. ____

A sua visão, corrigida, é normal? Sim ____ Não ____

Tipo de surdez: ____

Grau de surdez: ____

Etiologia da surdez: Congénita ____ Adquirida ____

Causa da surdez: ____

Algum dos progenitores apresenta surdez congénita? Sim ____ Não ____

Utiliza aparelhos auditivos? Sim ____ Não ____

Máximo de inteligibilidade (%) com aparelhos auditivos: ____

Idade em que começou a utilizar aparelhos auditivos: ____

Qual a importância que atribui à utilização de aparelhos auditivos no seu dia à dia?

- 1- Não é importante ____
- 2- Pouco importante ____
- 3- Relativamente importante ____
- 4- Importante ____
- 5- Muito importante ____

Qual a importância que atribui à utilização de aparelhos auditivos para a comunicação com as outras pessoas?

- 1- Não é importante ____
- 2- Pouco importante ____
- 3- Relativamente importante ____
- 4- Importante ____
- 5- Muito importante ____

Tem conhecimentos de Língua Gestual Portuguesa? Sim ____ Não ____

Qual das línguas é que utiliza como meio primordial de comunicação?

Língua Gestual Portuguesa ____ Português oral ____

Aceita poder vir a colaborar futuramente noutras experiências sobre este tema ou temas semelhantes? Sim ____ Não ____

Caso aceite, por favor, coloque na folha anexa um endereço de email ou um número de telefone para futuros contactos.

Anexo C

Esclarecimento pós-experimental

Processamento visual no espaço central e periférico em indivíduos com surdez congénita

Esclarecimento pós-experimental

Os estudos realizados ao longo dos últimos anos têm evidenciado um melhor desempenho, por parte de indivíduos com surdez congénita, relativamente a indivíduos ouvintes, ao nível do processamento visual de estímulos localizados na periferia, em condições de atenção, comparativamente com os estímulos localizados ao centro.

Neste trabalho, na experiência em que se pede ao participante para identificar a direcção do movimento dos pontos, pretende-se avaliar o desempenho visual, ao nível da periferia e ao nível do centro. Desta forma, um dos objectivos é reproduzir os resultados obtidos em estudos anteriores, bem como, perceber de que forma é que a existência e a memorização de imagens influencia o desempenho dos participantes com surdez e dos participantes ouvintes.

Um dos aspectos que distingue este trabalho de outros anteriores está no facto de, em vez de se comparar simplesmente um grupo de participantes com surdez, com participantes sem surdez, se pretender estudar dois grupos com surdez, mas em que, independentemente dos conhecimentos de Língua Gestual Portuguesa, um dos grupos apresenta um nível considerável de inteligibilidade verbal, enquanto o outro apresenta uma inteligibilidade verbal muito inferior, ou inexistente, comparando-se ainda cada um dos grupos com um grupo sem surdez.

Relativamente à segunda experiência, sabe-se que a forma como um indivíduo representa a informação sobre quantidade numérica não é determinada por factores educacionais, pelo que estes não serão o motivo para indivíduos surdos e ouvintes representarem esta informação de formas diferentes.

Assim, nesta segunda experiência, perante dois números que podem ser apresentados de diferentes formas (algarismos, conjuntos de pontos e gestos), os indivíduos terão que identificar qual o maior, se o da esquerda, ou se o da direita.

Para uma melhor compreensão sobre os temas em estudo, sugere-se a leitura dos seguintes artigos:

- Bavelier, D., Dye, M., Hauser, P. *Do deaf individuals see better?* Trends in Cognitive Sciences, 2006. Vol. 10, Nº11.
- Bull, R., Marschark, M., Valee, G. *SNARC hunting: examining number representation in deaf students.* Learning and individual differences, 2005 (223-236).

Obrigado pela sua colaboração!

Gonçalo Nunes
goncalojnunes@gmail.com